

Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Lehrerfortbildung

Eine Didaktische Rekonstruktion

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt dem Rat der Chemisch-Geowissenschaftlichen Fakultät der
Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Philipp Engelmann
geboren am 21.01.1991 in Schwedt/Oder

Gutachter:

1. Prof. Dr. Volker Woest, Friedrich-Schiller-Universität Jena
2. Prof. Dr. Ronny Nawrodt, Universität Stuttgart
3. Prof. Dr. Thomas Waitz, Georg-August-Universität Göttingen

Tag der Disputation: 10.07.2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Diskussion	5
2.1	Einführung	5
2.1.1	Die Entwicklung fächerübergreifenden Unterrichts seit den 60er Jahren bis heute	5
2.1.2	Systematisierung fächerübergreifenden Unterrichts	8
2.1.3	Fächerübergreifender Naturwissenschaftsunterricht – Legitimation und Kritik	9
2.2	Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften	12
2.2.1	Begriffsbestimmung und Systematisierung von Fortbildungen	12
2.2.2	Situation und Angebote in Deutschland	13
2.3	Die Vernetzung der einzelnen Naturwissenschaftsdisziplinen	20
3	Anforderungen an Fort- und Weiterbildungen von Lehrkräften für fächerübergreifende Naturwissenschaften	29
3.1	Modelle professioneller Lehrerfortbildungen	29
3.1.1	Empirische Befunde zur Lehrerfortbildung - ein konzeptioneller Rahmen	29
3.1.2	Das Angebots-Nutzungs-Modell für die Lehrerfortbildung	32
3.2	Charakteristiken von Lehrerfortbildungen für Naturwissenschaften	35
3.2.1	Trends zu Wirkungen und Merkmalen professioneller, naturwissenschaftlicher Lehrerfortbildungen im US-amerikanischen Raum	35
3.2.2	Anforderungen an naturwissenschaftliche Fortbildungen für curriculare Reformen	39
3.2.3	Befunde zu Merkmalen guter naturwissenschaftlicher Fortbildungen in Deutschland	41
3.3	Spezifische Herausforderungen für das Unterrichten fächerübergreifender Naturwissenschaften in Deutschland	45

3.4	Zwischenbilanz	49
4	Studiendesign und Forschungsfragen	51
4.1	ProfJL - Professionalisierung von Anfang an im Jenaer Modell der Lehrer- bildung	51
4.2	Forschungsfragen und Entwicklungsaufgaben	54
4.3	Studiendesign - das Modell der Didaktischen Rekonstruktion	56
5	Interviewstudie mit Lehrkräften	63
5.1	Zielsetzung	63
5.2	Art der Interviews und Kontextbedingungen	64
5.3	Konstruktion des Interviewleitfadens und Bezug zu den Forschungsfragen .	66
5.4	Auswertung der Interviews nach der Qualitativen Inhaltsanalyse	68
5.4.1	Beschreibung des Vorgehens	68
5.4.2	Exemplarische Darstellung der einzelnen Analyseschritte	70
5.4.3	Gütekriterien	77
5.5	Interpretation der Ergebnisse	79
5.5.1	Interpretation des Kategoriensystems zur Frage nach Merkmalen gu- ten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts	79
5.5.2	Interpretation des Kategoriensystems zur Frage nach Defiziten beim Unterrichten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts . .	81
5.5.3	Interpretation des Kategoriensystems zur Frage nach Anforderungen an eine Fortbildung für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsun- terricht	84
5.6	Zwischenbilanz	87
6	Fachdidaktische Entwicklungsforschung – die inhaltliche Gestaltung der Fortbildung	91
6.1	Kurzdarstellung	91
6.2	Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien - Didaktische Rekonstruktion .	93
6.2.1	Relevanz der Thematik	93
6.2.2	Fachliche Grundlagen	94
6.2.3	Didaktische Strukturierung	109
6.3	Überblick über die weiteren Fortbildungen und Diskussion der Konstrukti- onskriterien	117
6.3.1	Didaktik der Naturwissenschaften	117
6.3.2	Bionik – Lernen von der Natur	117
6.3.3	Arzneimittel	120
6.3.4	Wasser-Boden-Luft	122

6.3.5	Regenerative Kraftstoffe	123
6.3.6	Abschlussveranstaltung	125
6.4	Zwischenbilanz	127
7	Pilotierung und Erprobung der Fortbildung	129
7.1	Organisatorischer Rahmen der Pilotierung und Erprobung	129
7.2	Untersuchungsdesign	131
7.3	Ergebnisse der evaluativen Begleitung	134
7.3.1	Ergebnisse der Pilotierung	134
7.3.2	Überarbeitung der Fortbildung	141
7.3.3	Ergebnisse der Erprobung	142
7.4	Zusammenfassung	144
8	Zusammenfassung und Ausblick	147
A	Digitaler Anhang	151
B	Interviewleitfaden	153
C	Regeln der Zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring	155
D	Kategoriensystem der Interviewergebnisse nach der Erstkodierung	157
E	Modelle verschiedener Kohlenstoffmaterialien	163
F	Leitfaden für die Gruppendiskussion	165
	Literaturverzeichnis	167

Abbildungsverzeichnis

2.1	Basiskonzepte und deren Verknüpfungen der drei naturwissenschaftlichen Disziplinen für die Jahrgangsstufen 5-10.	22
2.2	Zur Rolle der Basiskonzepte in der Diskussion um die Vernetzung der drei Naturwissenschaftsdisziplinen im fächerübergreifenden Kontext.	26
3.1	Vorschlag von Desimone (2009) für einen empirisch abgesicherten, konzeptionellen Rahmen für Lehrerfortbildungen.	30
3.2	Das erweiterte Angebots-Nutzungs-Modell für die Lehrerfortbildung.	33
4.1	Struktur des Projektes ProfJL.	52
4.2	Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion mit seinen Teilaspekten <i>Fachliche Klärung, Erfassung von Schülerperspektiven</i> und <i>Didaktische Strukturierung</i>	57
4.3	Studiendesign. Adaptiertes Modell einer Didaktischen Rekonstruktion.	58
4.4	Untersuchungsablauf: iteratives Vorgehen der einzelnen Konstruktionsschritte.	59
5.1	Ablauf einer Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring.	68
5.2	Ablauf einer zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring.	70
6.1	Verlauf von $\frac{V(z)}{E_{\min}}$ über $\frac{z}{r_0}$	95
6.2	Einteilung der Adsorptionsisothermen nach IUPAC.	96
6.3	Gitterstruktur von Graphen.	98
6.4	Struktur des reziproken Gitters von Graphen (a) und Dispersionsrelation von Graphen nach dem Tight-Binding Modell (b).	99
6.5	Struktur von Industrieruß.	103
6.6	Perkolationskurve.	105
6.7	Strukturmodell einer PAN-Faser.	107
6.8	Vernetzung eines Epoxidharzes mit einem aliphatischen Diamin.	108
6.9	Modellstation zu Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien.	113

6.10	Schaltkreis mit selbst hergestelltem, leitfähig gefülltem Kunststoff (links) und Modellstation zur Perkolation (rechts).	115
6.11	Herstellung eines kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffes.	116
6.12	Modellbeschreibung der Oberflächenspannung.	118
6.13	Modellgrenzen für die Modellbeschreibung der Oberflächenspannung.	119
6.14	Strukturformel von Penicillinen (links) und Alanylalanin (rechts).	121
6.15	Kräftegleichgewicht bei der Kugelfallmethode nach Stokes (links) und ex- perimentelle Umsetzung für die Fortbildung (rechts).	124
7.1	Zeitliche Verteilung der einzelnen Veranstaltungen für die Pilotierung und für die Erprobung.	130
7.2	Evaluationsmethoden im Rahmen des CIPP-Modells für die konstruierte Fortbildung.	132
7.3	Instrumente der begleitenden Evaluation während der Pilotierung.	134
7.4	Ergebnisse des Graffiti.	135
7.5	Teilnehmerzufriedenheit bei der Pilotierung nach Veranstaltungen.	136
7.6	Kategoriensystem für die inhaltliche und methodische Gestaltung der Pilo- tierung.	137
7.7	Kategoriensystem für die Passung der Veranstaltungen zum eigenen Unter- richt.	138
7.8	Ergebnisse der schriftlichen Bewertung des Begleitmaterials.	141
7.9	Ergebnisse der Begleitevaluation der Erprobung.	143
E.1	Modelle von Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien.	163

Tabellenverzeichnis

2.1	Fortbildungsveranstaltungen mit Bezug zu fächerübergreifendem Unterricht nach Bundesländern 2017.	14
2.2	Fort- und Weiterbildungsprogramme für integrierte Naturwissenschaften in Deutschland.	16
3.1	Charakteristiken guter Lehrerfortbildungen nach Cormas und Barufaldi. . .	38
5.1	Sozioökonomische Daten der befragten Lehrkräfte.	65
5.2	Merkmale guten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts.	81
5.3	Defizite bei fächerübergreifendem Naturwissenschaftsunterricht.	82
5.4	Kategoriensystem für die Frage nach den Anforderungen an eine gelungene Fortbildung.	85
6.1	Kurzdarstellung der Fortbildungsveranstaltungen.	92
6.2	Struktur des Lernsets.	114
7.1	Sozioökonomische Daten der befragten Lehrkräfte.	131
7.2	Kategoriensystem für Ergebnisse der Gruppendiskussion.	139
D.1	Frage 1: Merkmale guten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts.	158
D.2	Frage 2: Defizite bei fächerübergreifendem Naturwissenschaftsunterricht. . .	159
D.3	Frage 3: Anforderungen an eine gelungene Fortbildung für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht. Teil 1.	160
D.4	Frage 3: Anforderungen an eine gelungene Fortbildung für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht. Teil 2.	161

Kapitel 1

Einleitung

Seit vielen Jahren wird im deutschsprachigen Raum über die Einführung naturwissenschaftlicher Verbundfächer bildungspolitisch wie fachdidaktisch diskutiert (Deutscher Bildungsrat, 1969; Kremer & Stäudel, 1997; Küster, 2014; Labudde, 2014). Infolge der Implementierung fächerübergreifender Naturwissenschaftscurricula mit integrativem Charakter stehen Lehrkräfte in Deutschland vor der Herausforderung, diese Fächer fachwissenschaftlich wie fachdidaktisch und damit auch experimentell zu gestalten. In Thüringen – wie auch in vielen weiteren Bundesländern – liegen diesbezüglich weder Aus- noch Weiterbildungsstrukturen vor. Die Professionalisierung von Lehrkräften der Naturwissenschaften muss damit als Kernproblem aktueller naturwissenschaftsdidaktischer Forschung betrachtet werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ein Fortbildungsprogramm entwickelt, das sich dem fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht in Thüringen für die Fächer MNT (Mensch-Natur-Technik), NT (Natur und Technik) und NWuT (Naturwissenschaften und Technik) widmet. Für die Konstruktion von Programmen für die 3. Phase der Lehrerbildung¹ müssen zahlreiche Faktoren beachtet werden. So stellt sich der gesamte Prozess als ein komplexes Gefüge hinsichtlich

- Qualitätsmerkmalen wirksamer Fortbildungen,
- schulischer Kontextbedingungen,
- Voraussetzungen der Lehrkräfte in fachlichen, volitionalen, motivationalen, privaten oder persönlichkeitsbezogenen Aspekten,
- der Art und Akteure der Fortbildungsleitung
- und insbesondere gewünschter Transferprozesse der Fortbildungsinhalte in den Unterricht dar.

¹Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird an vielen Stellen dieser Arbeit das generische Maskulinum verwendet. Die ausschließliche Verwendung der männlichen Form ist an den betreffenden Stellen stets geschlechtsunabhängig zu verstehen.

In einem Angebots-Nutzungs-Modell diskutiert Lipowsky (2010) diese Beziehungen und verweist auf einen gewissen Grad an Heuristik bei der Planung und wissenschaftlichen Untersuchung von Lehrerfortbildungen. Tatsächlich sind nur wenige Einflussgrößen auf den Erfolg einer Maßnahme zur Lehrerprofessionalisierung in der 3. Phase empirisch abgesichert. Desimone (2009) legt diesbezüglich einen empirisch abgeleiteten, konzeptionellen Rahmen für Lehrerfortbildungen vor, der die fünf Qualitätsmerkmale *Inhaltsbezug*, *aktives Lernen*, *kollektive Zusammenarbeit*, *Anbindung an das Professionswissen der Lehrkräfte* und *zeitlich umfangreiche Angebote* beinhaltet.

Im Kontext der vorliegenden Arbeit sind solche und ähnliche Zusammenhänge jedoch zu interpretieren und vor allem zu konkretisieren. In Bezug auf naturwissenschaftliche Fortbildungen lassen sich zwar durch Arbeiten wie von Neu und Melle (1998), Pietzner, Scheuer und Daus (2004) sowie Ansorge-Grein, Patzke und Bader (2009) für den deutschsprachigen Raum Ansätze für professionelle naturwissenschaftliche Lehrerfortbildungen ableiten. Diese sind jedoch für interdisziplinäre Fächer neu zu definieren. Im US-amerikanischen Raum stellt sich die Forschung zu naturwissenschaftlichen Lehrerfortbildungen durch die Untersuchung umfangreicher Weiterbildungsprogramme weitaus komplexer dar. Hier wird u. a. ein deutlicher Fachbezug unterstrichen (Mitchell et al., 2003; Jeanpierre, Oberhauser & Freeman, 2005; Cormas & Barufaldi, 2011). Auch der Deutsche Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts (MNU) warnt in einer aktuellen Stellungnahme vor „einem Unterricht fachfremden Personals sowie vor einer Kaschierung des Fachlehrermangels in den Fächern Physik und Chemie“ (MNU, 2019). Darüber hinaus deuten verschiedene Autoren im deutschsprachigen Raum für Lehrkräfte integrierter Fächer spezifische Herausforderungen in fachlichen, fachdidaktischen und experimentellen Kompetenzen an (Döriges, 2001; Labudde, Heitzmann, Heiniger & Widmer, 2005; Fruböse, Illgen, Kohm & Wollscheid, 2011; Wilhelm, 2007; Küster, 2014).

Zur Konstruktion einer Fortbildung für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht unter Berücksichtigung der ungesicherten Forschungslage über die Qualitätsmerkmale sowie der spezifischen Hindernisse für die Lehrkräfte wird sich im Rahmen dieses Vorhabens des Modells der Didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek (1997) bedient, das sich vor allem für nichtlineare Programmentwicklungen eignet. Das Modell setzt sich dabei aus den drei Aspekten *naturwissenschaftsdidaktische Grundlagen*, *Vorstellungen der Lehrkräfte* sowie der *Konzeption der Fortbildung* zusammen, die sich in einem stetigen Wechselspiel aus Erprobung, Evaluation und Anpassung befinden.

Als **naturwissenschaftsdidaktische Grundlagen** sind im Rahmen dieser Arbeit zum einen die empirischen Ergebnisse und Modelle für wirksame Lehrerfortbildungen zu

verstehen. Diese Aspekte geben erste grobe Richtlinien für die organisatorische und methodische Gestaltung der Fortbildung. Weiterhin zählen hierzu spezifische Bedürfnisse von Lehrkräften in Bezug auf integrierten Naturwissenschaftsunterricht. Zum anderen beinhaltet dieser Schwerpunkt die inhaltliche Konstruktion. Hierzu müssen zunächst zentrale Leitlinien als Konstruktionskriterien für einen erfolgreichen Naturwissenschaftsunterricht begründet werden. Im Anschluss sind die konkreten Fortbildungsinhalte fachlich zu erschließen, aus der Fachsystematik heraus zu elementarisieren und mithilfe der zuvor abgeleiteten Konstruktionskriterien zu rekonstruieren.

Neben den Grundlagen über professionelle Fortbildungen und die jeweiligen Fachsystematiken der Fächer Biologie, Chemie und Physik ist das Fortbildungsprogramm strukturell, methodisch und inhaltlich unter **Einbezug der Lehrerperspektive** zu gestalten. Dazu müssen typische Herausforderungen für Thüringer Lehrkräfte beim fächerübergreifenden Unterricht sowie spezifische Anforderungen an eine adäquate Fortbildung berücksichtigt und empirisch abgesicherte Erkenntnisse zur Fortbildungsforschung integriert werden. So lassen sich auch Ziele, die mit der Fortbildung verfolgt werden, erst durch den konkreten Praxisbezug definieren. Zu diesem Zweck wird eine Interviewstudie mit Thüringer Lehrkräften durchgeführt und mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2014) ausgewertet. Auf diese Weise kann das Programm an die Situation in Thüringen sowie an die hier implementierten interdisziplinären Fächer anknüpfen.

Für die **Konzeption der jeweiligen Fortbildungseinheiten** sind die Konstruktionschritte *fachliche Erschließung*, *Berücksichtigung empirischer Grundlagen* und *Einbezug der Lehrerperspektive* entsprechend dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion parallel und aufeinander bezogen zu verstehen. Durch Pilotierungs- und Erprobungsphasen, die mit einem evaluativen Design begleitet werden, ergeben sich Anpassungs- und Überarbeitungsschritte der Fortbildung. Das Evaluationsdesign berücksichtigt dabei die vier Stufen der Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen nach Kirkpatrick (1970) und Lipowsky (2010) und orientiert sich am CIPP-Modell für Programmevaluationen nach Stufflebeam (2003).

Die vorliegende Arbeit ist in sechs Abschnitte gegliedert. Im theoretischen Teil werden zunächst die Entwicklung fächerübergreifender Konzepte in der Bundesrepublik von den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts bis heute und typische Argumentationslinien zur Legitimation des, aber auch zur Kritik am fächerübergreifenden Unterricht dargestellt. Anschließend wird die aktuelle Fortbildungssituation deutschlandweit in Bezug auf integrierte Naturwissenschaften analysiert und es können zentrale Konstruktionskriterien bestehender Weiterbildungsprogramme zusammengefasst werden. Für die in dieser Arbeit konstruierte Fortbildung wird diesbezüglich ein konzeptionelles Verständnis über Leitlinien für fächerübergreifenden Unterricht abgeleitet (Kapitel 2). Ausgehend von Merkmalen wirk-

samer Lehrerfortbildungen wird eine Literaturanalyse professioneller Lehrerfortbildungen im US-amerikanischen Raum durchgeführt. Die so abgeleiteten Erkenntnisse können auf die Situation in Deutschland angewendet und im Kontext integrierter Naturwissenschaften reflektiert werden (Kapitel 3).

Als Ergebnis ergeben sich auf diese Weise zentrale Konstruktionskriterien sowie Forschungsfragen für die fachdidaktische Entwicklung der Fortbildung, die im Kontext des Modells der Didaktischen Rekonstruktion in Kapitel 4 dargestellt werden. Mit Kapitel 5 werden die Auswertung sowie Ergebnisse der Interviewstudie diskutiert und erste Konstruktionsschritte für die Fortbildung abgeleitet. Am Beispiel des Themas *Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien* sollen anschließend die fachlichen Grundlagen und das Vorgehen der inhaltlichen Rekonstruktion vorgestellt werden. Nach einem Überblick über die weiteren Fortbildungsthemen *Didaktik der Naturwissenschaften*, *Bionik*, *Arzneimittel*, *Wasser-Boden-Luft*, *Regenerative Kraftstoffe* und *Abschlussveranstaltung* werden exemplarisch die inhaltliche Strukturierung unter Berücksichtigung der Konstruktionskriterien diskutiert und mit den Ergebnissen der Interviewstudie in Beziehung gesetzt (Kapitel 6).

Abschließend werden mit Kapitel 7 die Ergebnisse der Pilotierungs- und Erprobungsphasen der Fortbildung vorgestellt. Dazu werden die Daten der empirischen Begleitforschung ausgewertet und in Bezug auf die Konzeption der Fortbildung diskutiert. Alle curricularen Materialien, die mit Lehrkräften mehrfach erprobt wurden, sind im Anhang in digitaler Form gesammelt.

Kapitel 2

Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Diskussion

2.1 Einführung

2.1.1 Die Entwicklung fächerübergreifenden Unterrichts seit den 60er Jahren bis heute

Die heutige Diskussion um fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht hat ihre Wurzeln in der in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts einsetzenden Bildungsreform der damaligen BRD. Ausgelöst durch den sogenannten *Sputnikschock* wurden im amerikanischen und englischen Raum Reformen in der Bildung eingeführt, von denen dann auch die BRD durch die alliierten Mächte betroffen war (Kremer & Stäudel, 1992). Zeitgleich führte ein erheblicher Lehrermangel zu einer kritischen Auseinandersetzung mit der Schul- und Universitätsbildung (Picht, 1965). Um der damaligen Bildungssituation entgegenzutreten, wurde im Hamburger Abkommen von 1964 die Möglichkeit von bislang weniger geduldeten Schul- und Modellversuchen eingeräumt (KMK, 1973). In diesem Zusammenhang etablierte sich eine gesamtschulspezifische Ausbildung von Schülerinnen und Schülern. Sowohl die Entwicklung der Gesamtschule und die damit einhergehenden Modellprojekte als auch die als *Bildungsnotstand* betitelte Situation in der Bundesrepublik führten zu einer Curriculumreform, in dessen Mittelpunkt eine fächerübergreifende naturwissenschaftliche Ausbildung stand (Stäudel & Rehm, 2012). Auch ein Gutachten der Bildungskommission des Deutschen Bildungsrates (1969), in dem ein integrierter Naturwissenschaftsunterricht ab Klasse fünf angedacht wurde, führte zu weitreichenden Einbettungen fächerübergreifenden Unterrichts in die Gesamtschule (Reinhold & Bündler, 2001). Einen Überblick über damalige fächerübergreifende Konzeptionen gibt Fischler (1978). Von einzelnen Curriculumbau-

steinen wie etwa *Fortbewegung bei Lebewesen und Maschinen*, über das Integrationsfach Umwelterziehung, das IPN-Curriculum Physik (Niedderer, von Rhöneck, Duit & Riquarts, 1974), das Projekt der CUNA-Autorengruppe (1981) bis zum politisch begründeten Modellversuch PINC (1978) zeichnen sich diese in den 70er Jahren entwickelten Curricula vor allem durch die Vermischung mehrerer konzeptioneller Ansätze aus Wissenschafts-, Problem- bzw. Umweltorientierung aus (Fischler, 1978).

Jedoch mangelte es diesen curricularen Entwicklungen vonseiten der naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken der damaligen BRD an einer in Bezug auf die Erarbeitung praktischer Konzeptionen begleitenden Theoriebildung. So wurde eine Weiterentwicklung der vorgeschlagenen Ansätze nicht vorangetrieben, wie es im angloamerikanischen Raum etwa durch die STS- oder STE-Education geschah, bei denen fächerübergreifender Naturwissenschaftsunterricht auch über die Fachgrenzen der Naturwissenschaften hin zu gesellschaftspolitischen Themen erweitert wurde. Die Gegner eines integrierten naturwissenschaftlichen Curriculums argumentierten zudem auf einer allgemeinen, die Gesamtschule als Ganzes infrage stellende, Weise (Kremer & Stäudel, 1997). Daraus resultierten signifikante Hemmnisse für eine Implementation der entwickelten Praxisbeispiele für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht, sodass sich fächerübergreifende Konzepte und Fächer gegen die klassische Disziplinorientierung nicht durchsetzen konnten und lediglich in einer Art Nischenkultur an einigen Gesamtschulen aufrechterhalten wurden (Reinhold & Bündler, 2001). Zwar konnte mit zwei großen Symposien zum Arbeitsprojekt *Integriertes Curriculum Naturwissenschaft* des IPN 1973 und 1974 ein wertvoller Beitrag zur Theoriebildung geleistet werden. Hierbei wurden grundlegende Elemente und Kriterien zur Entwicklung fächerübergreifender Curricula erarbeitet (Frey & Häußler, 1973). Allerdings fand entgegen der aus diesen Symposien hervorgegangenen Forderung nach einer Fokussierung der naturwissenschaftsdidaktischen Arbeiten auf die Gestaltung integrierter Curricula hauptsächlich eine weitere fachimmanente Auseinandersetzung der Fachdidaktiken beispielsweise mit Schülervorstellungen und Lernprozessen statt (Stäudel & Rehm, 2012; Gebhard, Höttecke & Rehm, 2017).

In den 80er Jahren erhielt die Diskussion um fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht einen erneuten Aufschwung. Grund war zum einen die Frage nach einer Neubestimmung allgemeiner Bildung. Hier ist vor allem Wolfgang Klafkis Bildungstheoretische Didaktik zu nennen, bei der Allgemeinbildung durch die Beschäftigung mit gesellschaftsrelevanten Schlüsselproblemen zu erreichen sei, die aufgrund der thematischen Komplexität fächerübergreifendes Arbeiten notwendig mache (Klafki, 2007). Zum anderen wurde durch Brämer in den 80er Jahren eine Studie aus dem Jahr 1970 der Öffentlichkeit zugänglich, bei der äußerst ernüchternde Ergebnisse zur Erklärung typischer, physikalischer Alltagssphänomene wie Donner oder Schwimmen durch junge Erwachsene festgestellt wurden

(Redaktion SozNat, 1982). Die damaligen gesellschaftlichen Debatten um Kernkraft, Umweltschutz und Rüstungsaspekte trugen dem Fortschrittsgedanken und dem Vertrauen in die Naturwissenschaften auch im schulischen Bereich Abbruch, zudem durch damalige Untersuchungen weiterhin die Unbeliebtheit der Fächer Chemie und Physik konstatiert wurde. Infolgedessen entstand beispielsweise auf Anfrage des Kultusministeriums Hessen ein didaktisch-methodisches Konzept von Gerda Freise (1985) zu einem Lernbereich Natur. Jedoch führte auch die Entwicklung der 80er Jahre durch den Widerstand konservativer Lehrerverbände nicht zu einer nachhaltigen Implementierung oder zumindest Auseinandersetzung mit integriertem naturwissenschaftlichen Unterricht (Stäudel & Rehm, 2012).

Eine grundlegende fachdidaktisch-pädagogische Konzeptualisierung fächerübergreifenden Unterrichtens fand mit den Entwicklungsprojekten der 90er Jahre statt. Hier sind vor allem die Projekte PING (Praxis integrierter naturwissenschaftlicher Grundbildung), FUN (Fächerübergreifender Unterricht Naturwissenschaften) und BINGO (Berufsorientierung und Schlüsselprobleme im fachübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht der gymnasialen Oberstufe) zu nennen. Gerade das Projekt PING weist hierbei eine tiefgründige, theoretische Fundierung im Bereich der Lern- und Entwicklungspsychologie sowie einen starken Bezug zu den angloamerikanischen STS- und STE-Ansätzen auf. Die Einrichtung eines Lernbereiches Naturwissenschaften in Hessen, darauffolgende konstruktive Konsensgesprächen zwischen der damaligen Landesregierung und Handelskammern, die Forderung nach einem fächerübergreifendem naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht als Anschluss an den Sachunterricht der Grundschule durch Verbände wie den Verband der Chemischen Industrie sowie ein durch das IPN ins Leben gerufener Bundesarbeitskreis *Integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht* zum Austausch zwischen den einzelnen Entwicklungsprojekten ließen erwarten, dass der fächerübergreifende Naturwissenschaftsunterricht nun einen festen Bestandteil der deutschen Bildungslandschaft ausmachte. Jedoch wurden die in den 90er Jahren entwickelten Lehrpläne für integrierten Naturwissenschaftsunterricht durch Regierungswechsel in Hessen 1999 und wenige Jahre später in Nordrhein-Westfalen wieder zurückgezogen. Damit muss auch die aus mit der Praxis entwickelte, theoretisch fundierte Konzeptentwicklung der 90er Jahre in Bezug auf die strukturell-verankerte Verbreitung integrierten Unterrichts als gescheitert betrachtet werden, auch wenn sich einige der damals erstellten Konzepte in heutigen Lehrplänen und Bildungsstandards wiederfinden (Stäudel & Rehm, 2012).

Denn mit den in keiner Weise zufriedenstellenden Lernleistungen, dokumentiert z. B. durch die TIMS-Studie (Baumert et al., 1997), einem hohen Interessenverlust von Schülerinnen und Schülern an Naturwissenschaften und einer deutlichen Diskrepanz zwischen wünschenswerten Aspekten im naturwissenschaftlichen Unterricht vonseiten der Schülerinnen und Schüler und dem tatsächlichen Unterrichtsangebot (Häußler, Bündler, Duit,

Gräber & Mayer, 1998) wurden methodische und inhaltliche Überarbeitungen des naturwissenschaftlichen Unterrichts verlangt (BLK, 1997). Die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte (2010) und die Gesellschaft Deutscher Chemiker (2005) forderten diesbezüglich ähnlich wie in den 90er Jahren für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht fächerübergreifende Anteile. Durch die im weiteren Verlauf eingeführten Bildungsstandards, in denen gerade der Aspekt des naturwissenschaftlichen Arbeitens eine festgelegte Brücke zwischen den drei naturwissenschaftlichen Disziplinen darstellt und die stärkere Orientierung von Unterricht an Basiskonzepten konnte letztlich eine Art länderübergreifender Konsens erreicht werden, in dessen Folge die Diskussion um fächerübergreifenden Unterricht anders als in den 70er Jahren alle Schulformen betraf und aktuell immer noch betrifft (Stäudel & Rehm, 2012).

Betrachtet man die Summe aller Schulformen, finden sich heutzutage in nahezu allen Bundesländern (mit Ausnahme von Sachsen und Sachsen-Anhalt) integrierte Fächer in der Klassenstufe 5/6 sowie in vielen Bundesländern (mit Ausnahme von Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, Bremen, Hessen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland) fächerübergreifende Angebote für höhere Jahrgangsstufen (Busch, 2016). Die Einführung dieser Fächer resultiert letztlich aus der oben dargestellten (bildungs-)politischen Entwicklung. Auch wenn in den 2000er Jahren einige innovative Entwicklungsprojekte mit fächerübergreifenden Ansätzen vorangetrieben wurden, darunter Parchmann, Demuth, Ralle, Paschmann und Huntemann (2001) mit Chemie im Kontext sowie Hübinger und Sumfleth (2006), so bleibt die Einführung der heute vorliegenden integrierten Fächer in erster Linie ein politisches Resultat als eine fachdidaktische Konsequenz (Stäudel & Rehm, 2012).

2.1.2 Systematisierung fächerübergreifenden Unterrichts

Für den fächerübergreifenden Unterricht haben sich insbesondere in den 90er Jahren verschiedene Typologien entwickelt. In Bezug auf die Organisationsform dieses Unterrichts hat sich die Systematisierung nach Labudde (2003) durchgesetzt, die inhaltlich identisch mit der von L. Huber & Effe-Stumpf (1994) ist. Auf Ebene der Stundentafel werden *fächerergänzender*, d. h. parallel zu den disziplinatorientierten Fächern, und *integrierter*, d. h. anstelle der disziplinatorientierten Fächer, Unterricht unterschieden. Auf Ebene der Fachdisziplinen kann fächerübergreifender Unterricht in *fachüberschreitend*, *fächerverknüpfend* und *themenzentriert* eingeteilt werden. Beim fachüberschreitenden Unterricht werden im Fachunterricht ausgewählte Erkenntnisse aus anderen Fachdisziplinen hinzugezogen. Dagegen werden beim fächerverknüpfenden Unterricht bestimmte Erkenntnisse, Methoden oder Konzepte aus mindestens zwei Fachdisziplinen wechselseitig miteinander verknüpft. Themenzentrierung liegt vor, wenn ein übergeordnetes Thema synchron aus mehreren

Fachdisziplinen bearbeitet wird. Dieser Ansatz kann mit dem kontextorientierten Unterricht verglichen werden, bei dem ebenfalls an einem übergreifenden Thema verschiedene Inhaltsdimensionen abgedeckt werden (Parchmann et al., 2001). Der Begriff *fächerübergreifender Unterricht* stellt hierbei einen Oberbegriff für jegliche der genannten Organisationsformen dar und soll auch in diesem Sinne in der vorliegenden Arbeit verwendet werden.

Diese Systematisierung erlaubt einen großen Spielraum für die inhaltliche, methodische und didaktische Ausgestaltung fächerübergreifenden Lernens. Entsprechende Systematisierungen curricularer Formen wurden ebenfalls in den 90er Jahren entwickelt, so etwa in Bezug auf didaktische Konzepte (Häußler, 1973) und Funktionen (Hiller-Ketterer & Hiller, 1997), inhaltliche Beziehungen zwischen den einzelnen Fächern (L. Huber & Effe-Stumpf, 1994) sowie nach Art des fächerübergreifenden Lernens (Popp, 1997). Eine neuere Systematisierung von Rehm et al. (2008) greift vorherige Gedanken auf und schlägt vor, fächerübergreifenden Unterricht nach

- **Orientierung des didaktischen Ansatzes für Science-Unterricht**, d. h. Orientierung an naturwissenschaftsimmanenten Konzepten oder an Konzepten externer Bezugssysteme;
- **Akzentsetzung/ Ausgangspunkt**, d. h. Mittelpunktsetzung für den fächerübergreifenden Unterricht an z. B. Basiskonzepten, naturwissenschaftlicher Methodik, etc.;
- **dem Verhältnis der Teile zum Ganzen**, d. h. nach additiven, integrierten, exemplarischen oder systematischen Konzepten;
- **der Unterrichtsform**, z. B. forschend-entwickelnder oder historisch-genetischer Unterricht, bzw. Projekt- oder Gruppenunterricht

einzuteilen. Wie sich im Kapitel 2.3 zeigen wird, spielt gerade ein exemplarischer Ansatz für die Konstruktion einer Fortbildung zu fächerübergreifendem Unterricht eine entscheidende Rolle.

2.1.3 Fächerübergreifender Naturwissenschaftsunterricht – Legitimation und Kritik

Die seit den 60er Jahren anhaltende Diskussion um die Integration der Fächer Chemie, Physik und Biologie sowie ggf. mit sozialwissenschaftlichen Disziplinen, wie Politik- oder Wirtschaftswissenschaften, hat einige zentrale Legitimationen für fächerübergreifenden Unterricht in den Naturwissenschaften herausgestellt. Eine Zusammenstellung der typischen Argumentationslinien findet sich bei Rehm et al. (2008) und bei Labudde (2014).

So differenziert Labudde in sieben zentrale Argumentationslinien. Fächerübergreifender Unterricht eigne sich seiner Meinung nach besser als disziplinentorientierter Unterricht zur Förderung von Vernetzungsprozessen neuer Wissensfragmente unter Einbezug von Schülervorstellungen, von einigen überfachlichen Kompetenzen (siehe hierzu auch Grob und Maag Merki (2001)) wie etwa Umweltkompetenz oder Problemlösefähigkeit, des Projektlernens, gendergerechtem Unterricht sowie der Interessensteigerung an Naturwissenschaften. Zudem bereite fächerübergreifender Unterricht besser auf einen späteren Berufsalltag vor, der sich durch die Anforderung zur Vernetzung mehrerer Wissensgebiete auszeichne, und erleichtere die immer wieder geforderte Bearbeitung von Schlüsselproblemen der Menschheit (Klafki, 2007). Auch wenn sich die Zusammenstellung bei Labudde auf viele Studien sowie Literaturvermerke stützt und eine 30-jährige Diskussionstradition darstellt, weist er explizit darauf hin, dass einige der Argumente, speziell zur Interessensförderung, nicht empirisch abgesichert sind und sich häufig, so Labudde, auf ein „*Glauben und Meinen*“ (Labudde, 2014, S. 14) stützen.

Rehm et al. (2008) führen die Legitimation fächerübergreifenden Unterrichts durch die Aufstellung und Bearbeitung von vier zentralen Thesen zurück. Dabei wird ausgehend von der internationalen Lage zum Unterrichtsfach *Science*, dessen Einführung im amerikanischen Raum und der Schweiz mittlerweile als Selbstverständlichkeit angesehen wird, dieses Schulfach bildungspolitisch wie wissenschaftstheoretisch begründet, bevor verschiedene curriculare Formen identifiziert werden. Bildungspolitisch wird hier ähnlich zu Labudde (2014) ein konstruktivistischer Gedanke sowie das Verhältnis von Natur zu Kultur (vgl. Litt (1959)) diskutiert. Weiterhin wird der Allgemeinbildungsgedanke (vgl. Klafki (2007)) hier u. a. dahin gehend diskutiert, dass es lebensvorbereitende Alltagsthematiken gibt, die sich auch in disziplinentorientiertem Unterricht entwickeln lassen (z. B. die *im Kontext*-Konzepte (Hössle, Parchmann & Komorek, 2009)), jedoch die Umsetzung solcher Themen in einem integrierten Unterricht erleichtert ist, weil die Schüleraktivität losgelöst von Fachgrenzen weniger eingeengt ist. Es wird hier explizit darauf hingewiesen, dass die Frage nach den Vorteilen fächerübergreifendem gegenüber disziplinärem Unterricht immer von der Unterrichtsgestaltung und der curricularen Aufbereitung abhängt. Dieser Punkt wird auch aktuell immer wieder unterstrichen, so etwa durch Gebhard et al. (2017). Eine abschließende Klärung der Sinnhaftigkeit fächerübergreifenden Unterrichts ist also auch immer an seinen Inhalten zu messen. Wissenschaftstheoretisch wird durch Rehm et al. (2008) dann sehr allgemein versucht, einer Domäne Naturwissenschaft eine Struktur zu geben, wie sie in den Einzeldisziplinen vorhanden ist. Es wird unterstrichen, dass die Naturwissenschaft sich durch die Involviertheit des Menschen in die Natur und einer gemeinsamen Methodik auszeichnet. In Kapitel 2.3 dieser Arbeit wird gerade der Aspekt der gemeinsamen Methodik nochmals aufgegriffen und im Hinblick auf eine mögliche Ver-

netzung der drei Einzeldisziplinen kritisch diskutiert. Als Teilkonsequenz der Diskussion legen Rehm et al. (2008) fest, dass im fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht die Einzelkonturen der Disziplinen Physik, Chemie und Biologie keinesfalls verloren gehen dürfen, sondern vielmehr unterstrichen und weiterführend in Wechselseitigkeit gesetzt werden. Dieser Gedanke wird ebenfalls im Kapitel 2.3 aufgegriffen, wenn es darum geht, wie die Verknüpfung der Einzeldisziplinen in einem fächerübergreifenden Setting erfolgen kann. In diesem Zusammenhang scheint es auch sinnvoll, eben nicht von einer Domäne *Naturwissenschaft*, sondern immer in der Mehrzahl von *Naturwissenschaften* zu sprechen.

Auch wenn es zahlreiche Gründe für einen integrierten Unterricht in den Naturwissenschaften gibt, hat sich bislang keine umfassende Fachdidaktik der Naturwissenschaften formiert. Gerade Fachmethoden, Modelle und Theorien der jeweiligen disziplinären Fachdidaktiken sind nur vereinzelt und damit unzureichend integriert worden (Küster, 2014). In Kapitel 3.3 werden weitere typische Problemfelder beim fächerübergreifenden Unterricht thematisiert, die letztlich entweder zu einer Weiterentwicklung der vorhandenen Konzepte führen können, oder diesen Unterricht gänzlich infrage stellen. So sehen Jürgensen und Schieber (2001) die Herausforderung, dass im fächerübergreifenden Unterricht die klassischen Naturwissenschaftsdisziplinen lediglich episodenhaft betrachtet werden könnten. Zudem muss betont werden, dass es seitens der Lehrkräfte häufig an fachlicher Fundierung fehlt, sodass in einem fächerübergreifenden Unterricht fachfremde Aspekte gemieden werden (Kremer & Stäudel, 1997; Busch & Woest, 2016). Gerade zur Überbrückung solcher Hindernisse (siehe dazu auch Kapitel 3.3) sind adäquate Aus- und Fortbildungsangebote vonnöten, die bislang jedoch noch als unzureichend bewertet werden (Döriges, 2001; Grasser, 2010; Bröll & Friedrich, 2012; Busch & Woest, 2016). Schecker et al. (1996) sowie der MNU-Bundesverband (2015) folgern daraus einen domänenspezifisch zu orientierenden Naturwissenschaftsunterricht, der fachübergreifende Anteile enthält, da integrierte Fächer aufgrund fehlender Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten der betreffenden Lehrpersonen die zuvor dargelegten Vorteile nicht angemessen umsetzen können. Aus diesem Desiderat haben sich dagegen in den letzten Jahren zumindest an einigen Standorten der Bundesrepublik Aus- und Fortbildungsprogramme für fächerübergreifende Naturwissenschaften entwickelt. Für die Ausbildungsprogramme sei auf die Konzepte

- Schlözer-Programm-Lehrerbildung der Georg-August-Universität Göttingen¹ (Cirkel, Eggert, Bögeholz & Schneider, 2017),
- Elite-Programm „Mint-Lehramt Plus“ an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg und der Universität Bayreuth²,

¹nähere Informationen unter <http://www.uni-goettingen.de/de/handlungsbereich+a%3a+f%c3%a4cher+vernetzen/540733.html>

²nähere Informationen unter <http://www.mint-lehramt-plus.bayern/>

- Didaktikfach „Naturwissenschaft und Technik“ für Grund- und Mittelschulen der Universität Regensburg³,
- Vertiefungsstudiengang „Naturwissenschaft und Technik“ für das Gymnasium der Eberhard Karls Universität Tübingen⁴,
- Bereichsfach „Naturwissenschaften“ für Regelschulen und Gymnasien der TU Kaiserslautern⁵ und
- Vorlesungs- und Seminarveranstaltung „Fächerübergreifender Unterricht“ für das Lehramt Chemie an der Philipps-Universität Marburg⁶

verwiesen. Auch an der Friedrich-Schiller-Universität Jena konnte seit 2015 ein Seminar zu fächerübergreifenden Naturwissenschaften als Didaktikseminar für Biologie-, Chemie- und Physiklehramtsstudierende geschaffen werden (Hoffmann & Woest, 2018). Im Folgenden soll jedoch die Fort- und Weiterbildungssituation in Deutschland näher charakterisiert werden.

2.2 Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften

2.2.1 Begriffsbestimmung und Systematisierung von Fortbildungen

Die 3. Phase der Lehrerbildung ist ebenso wie die 1. Phase von der Implementation fächerübergreifender Naturwissenschaftsfächer betroffen. Da wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben eine unzureichende Ausbildung von Lehramtsstudierenden für integrierte Naturwissenschaften erfolgt, kommt der 3. Phase sowohl mit informellen als auch formellen Lehrerfortbildungen eine besondere Bedeutung zu.⁷ Für den Begriff Lehrerfortbildung existieren verschiedene Definitionen und Professionalisierungsansätze. Eine aktuelle Darstellung der nationalen und internationalen Definitionslage fasst Aldorf (2016, S. 52–54) zusammen. In einem allgemeinen Sinn können nach Fuhrmann (1997, S. 172) Lehrerfortbildung als jegliche „auf weitere berufliche Professionalisierung gerichteten [...] Formen des individuellen oder gemeinsamen Lernens von Lehrerinnen und Lehrern“ definiert werden. Lin-Klitzing

³nähere Informationen unter <https://www.uni-regensburg.de/physik/naturwissenschaft-technik/>

⁴nähere Informationen unter <https://uni-tuebingen.de/en/12230>

⁵nähere Informationen unter <https://www.physik.uni-kl.de/kuhn/lehre/modulelehrveranstaltungen/bereichsfach-naturwissenschaften/>

⁶nähere Informationen unter <https://www.uni-marburg.de/fb15/studium/studiengaenge/la-chemie/dokumente/studienaufbau.pdf>

⁷Lehrerfortbildungen können nach informellem und formellem Lernen abgegrenzt werden. Informelles Lernen bezeichnet hierbei individuelle Lernprozesse, die außerhalb pädagogischer Lernarrangements stattfinden (Dohmen, 2001). Für eine konkrete Begriffsabgrenzung siehe Watkins und Marsick (1992).

(2011, S. 88) unterscheidet Lehrerfortbildungen im weiteren Sinne, unter denen jegliche Aktivitäten zur Erweiterung und Sicherung beruflicher Kompetenzen zu verstehen sind, und im engeren Sinne, bei denen Lehrerfortbildungen didaktisch-strukturiert bzw. institutionalisiert angeboten werden.

Neben der Unterscheidung von formellen und informellen Lehrerfortbildungen systematisieren Fussangel, Rürup und Gräsel (2016) nach dem Träger der Fortbildung. Auch wenn für Lehrerfortbildung prinzipiell eine Anbieterpluralität aus Verbänden, Kirchen und privaten Anbietern besteht, fällt den Universitäten und vor allem staatlichen Institutionen wie Kultusministerien eine entscheidende Rolle zu. Des Weiteren unterscheiden Fussangel et al. (2016) organisatorische Merkmale einer Fortbildung mit Zeit (eintägig und mehrtägig, Umfang der Veranstaltung in Stunden, zeitliches Spektrum von eher auf einen kurzen Zeitraum konzentrierte bis zu mehrjährigen Fortbildungen) und Ort (überregional, regional und schulintern) sowie didaktisch-methodische Merkmale. Hierbei reicht das Spektrum von Präsenzveranstaltungen über Fernstudiengänge bis zu Online-Kursen. Auch die Frage nach dem Einsatz digitaler Lernumgebungen bettet sich hier ein. Weiterhin differenziert sich der didaktisch-methodische Aspekt nach eher referenzzentrierten Fortbildungen (z. B. durch Vorträge) und teilnehmerzentrierten Fortbildungen aus. So rückt der Referent einer Fortbildung bei Fortbildungsformaten des Coachings oder gegenseitigen Beratens eher in die Rolle eines Moderators.

Anhand dieser Definitionen und Systematisierungen sind die für diese Arbeit zugrunde liegenden Lehrerfortbildungen als *Lehrerfortbildungen im engeren Sinne mit dem Fokus auf formellem Lernen* zu bezeichnen. Als Träger ist die Friedrich-Schiller-Universität Jena in Kooperation mit dem Thüringer Institut für Lehrerfortbildung, Lehrplanentwicklung und Medien (ThILLM) zu nennen. Dabei wird ein *defizit-kompetenzorientierter Ansatz* verfolgt (siehe dazu Kapitel 3.3 und 5), da die Veranstaltungen einen Ausgleich für Mangel im fachlichen und fachdidaktischen Wissen bezogen auf das Unterrichten fächerübergreifender Naturwissenschaften darstellen (Defizitorientierung), zugleich jedoch die Lehrkräfte befähigen sollen, ihre Lernprozesse sowohl in als auch nach den Fortbildungen individuell zu steuern (Kompetenzorientierung) (Rösken, 2008; Krainer, 1996; Cochran-Smith & Lytle, 1999; Clarke & Hollingsworth, 2002). Die Frage nach organisatorischen und didaktisch-methodischen Merkmalen kann an dieser Stelle noch nicht beantwortet werden und ist Teil der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung.

2.2.2 Situation und Angebote in Deutschland

Seit einigen Jahren finden sich bundesweit zahlreiche Fortbildungen zu fächerübergreifendem Unterricht. Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die Anzahl an Fortbildungen nach Bundesländern für das Jahr 2017, die sich durch einen Bezug zu fächerübergreifendem

Unterricht kennzeichnen. Hierunter sind nicht nur die Veranstaltungen zu verstehen, die sich explizit auf fächerübergreifenden Unterricht beziehen, sondern auch indirekt durch die Behandlung entsprechender Kontexte oder Methodiken fächerübergreifendes Arbeiten ermöglichen. Die Angaben in Tabelle 2.1 sind aus den Fortbildungskatalogen der jeweiligen Bundesländer für 2017 entnommen. Die Zusammenstellung der betrachteten Fortbildungen findet sich in Anhang A (CD1). Sämtliche Zeitangaben wurden auf halbe Stunden gerundet. Die letzte Spalte stellt die Anzahl an Fortbildungen dar, die sich einem inhaltsbezogenen fächerübergreifenden Thema widmen. Die Fortbildungskataloge von 2017 der Bundesländer Baden-Württemberg, Bremen, Berlin, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Nordrhein-Westfalen und Mecklenburg-Vorpommern waren nicht einsehbar.

Tabelle 2.1: Fortbildungsveranstaltungen mit Bezug zu fächerübergreifendem Unterricht nach Bundesländern 2017.

Bundesland	Anzahl	mittlere Dauer [h]	davon halbtags (bis 6 h)	davon ganztags (mind. 6 h)	davon mehrtägig	inhaltslicher Fokus
Bayern*	17	-	1	1	15	10
Brandenburg**	25	3,5	18	7	0	18
Hamburg	6	3,5	5	1	0	3
Hessen	5	3,0	5	0	0	0
Niedersachsen	16	5,0	9	6	1	6
Rheinland-Pfalz**	17	12,0	2	5	10	5
Saarland	22	5,0	13	8	1	10
Schleswig-Holstein**	34	5,0	28	3	3	18
Thüringen**	35	3,0	34	1	0	16

*Zusätzlich zu den 17 Präsenzlehrgängen gab es in Bayern neun Online- bzw. Mischangebote.

Die Angabe einer mittleren Fortbildungsdauer war aufgrund dessen nicht sinnvoll.

**Diese Bundesländer haben ausgewählte Kurse für fächerübergreifenden Unterricht, die hier nicht einbezogen wurden. Siehe dazu die weiteren Ausführungen in diesem Kapitel.

Diese Übersicht über die Fortbildungen zu fächerübergreifendem Unterricht in Deutschland zeigt exemplarisch, dass die Anzahl an angebotenen Themen nach Bundesländern stark variiert. Auffallend ist, dass vor allem in Hessen und Hamburg das Angebot sehr gering ist. Zu erwähnen ist hierbei, dass Hamburg zum einen ein sehr kleines Bundesland ist und zum anderen ein breites Angebot für naturwissenschaftliche Fortbildungen im Grundschulbereich hat. Hessen (sowie auch Niedersachsen) haben kein ausgewiesenes Fach für integrierte Naturwissenschaften. Auch Bayern und Rheinland-Pfalz nehmen eine Sonder-

stellung ein, da hier entgegen dem Trend in den anderen Bundesländern mehrheitlich Mehrtagesfortbildungen angeboten werden. Dies zeigt sich auch in der durchschnittlichen Dauer einer Fortbildung, die bei den meisten Ländern im Bereich von Halbtagesveranstaltungen liegt. Die Gründe hierfür können mannigfaltig sein, allerdings spielt die jeweilige Freistellungspraxis für Lehrkräfte vermutlich eine entscheidende Rolle.

Die letzte Spalte der Tabelle zeigt die Anzahl an Fortbildungen, die einen explizit inhaltlichen Fokus thematisierten und damit fachliche Aspekte fachdidaktisch reduziert darstellen. Fortbildungen, die sich beispielsweise mit der Sicherheit beim Experimentieren, der Behandlung inklusiver naturwissenschaftlicher Bildung oder dem bloßen Kennenlernen von Unterrichtsmethoden widmen, wurden ausgeschlossen. Wohingegen die Anzahl solcher Veranstaltungen in Thüringen, Schleswig-Holstein und dem Saarland als auf die Fläche bezogen kleine Bundesländer als zufriedenstellend einzustufen erscheinen, ergibt sich für größere Bundesländer wie Bayern und Niedersachsen eine ausbaufähige Situation. Denn hierbei ist die Entfernung zum Veranstaltungsort als wichtiger Indikator für die Teilnahme an einer Fortbildung zu nennen, da sich Lehrkräfte keine zu weiten Anfahrtswege wünschen (Daus et al., 2004; Ansorge-Grein et al., 2009). Nimmt man beispielsweise bei einem Schwerpunkt auf Halbtagesveranstaltungen an, dass die maximale Entfernung zu einem Fortbildungsort, den Lehrkräfte bereit sind zu fahren, 50 km beträgt, so ergibt sich ein Einzugsgebiet (kreisförmig) von ca. 8.000 km². Für Thüringen mit einer Fläche von ca. 16.000 km² ergibt sich damit, dass von den 16 auf konkrete Inhalte bezogene Veranstaltungen für jede Lehrkraft mindestens acht Veranstaltungen im Einzugsgebiet liegen. Bei Niedersachsen mit einer Fläche von ca. 48.000 km² ist es nur eine Veranstaltung. Diese Modellrechnung erlaubt eine erste Bewertung der letzten Spalte von Tabelle 2.1, wenngleich Aspekte wie Ballungszentren, Freistellungspraxis und die geometrische Form des Bundeslandes darauf einen Einfluss haben.

Weiterhin muss für eine differenzierte Betrachtung aber auch untersucht werden, auf welche Klassenstufen sich die jeweiligen Fortbildungen beziehen. Für die Zielstellung dieser Arbeit sei diesbezüglich nur auf Thüringen hingewiesen. So entfallen von den insgesamt 35 Veranstaltungen 22 auf Fortbildungen auf das Fach *Mensch-Natur-Technik* der 5. und 6. Jahrgangsstufe. Lediglich sieben Fortbildungen sind für den höheren Bereich (Klassenstufe 7-10) geeignet und sechs für sämtliche Klassenstufen. Von den sieben Fortbildungen für höhere Klassenstufen entfallen wiederum fünf auf das Fach *Natur und Technik* im Regelschulbereich. Für das Fach *Naturwissenschaften und Technik* am Gymnasium liegen keine expliziten Fortbildungen vor.

In den Bundesländern Berlin-Brandenburg, Bremen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein und durch die Fortbildungsreihe dieser Arbeit auch in Thüringen haben sich zudem Fort-

bzw. Weiterbildungskurse etabliert, die sich entweder direkt auf die Professionalisierung von Lehrkräften für integrierte Fächer beziehen oder Lehrkräften beim Unterrichten fachfremder Anteile unterstützen sollen. In Tabelle 2.2 sind diese Programme dargestellt.

Tabelle 2.2: Fort- und Weiterbildungsprogramme für integrierte Naturwissenschaften in Deutschland.

Bundesland	Programm	Umfang	Klassenstufe
Berlin-Brandenburg	Nawi - Qualifizierung für das Fach Naturwissenschaften	144h	5/6
Bremen	Chemie-Werkstatt für das Fach NW	2x12h	5-8
Rheinland-Pfalz	Weiterbildung Technik und Naturwissenschaft	300-370h	6-10
	Weiterbildungen CH@PH	2,5a	5-10
Schleswig-Holstein	Zertifikatskurs WPU I Angewandte Naturwissenschaften	4x32h	7-10
	Qualifizierungskurs Naturwissenschaften	16h	5-10

Nawi – Qualifizierung für das Fach Naturwissenschaften

⁸ Im Land Brandenburg wird seit 2016 ein Fortbildungsprogramm für den Unterricht im Fach *Naturwissenschaften* der Klassenstufe 5/6 angeboten. Dieses Programm richtet sich vor allem an Grundschullehrkräfte, insbesondere an Lehrkräfte der 5. und 6. Jahrgangsstufen⁹, allerdings auch an Quereinsteiger in das Lehramt sowie an Lehrkräfte weiterführender Schulen, da es in Brandenburg möglich ist, in sogenannten *Leistungs- und Begabungsklassen* bereits nach der vierten Klasse auf eine weiterführende Schule zu wechseln. Das Weiterbildungsprogramm ist verpflichtend für alle Lehrkräfte staatlicher Schulen, die das Fach *Naturwissenschaften* unterrichten oder unterrichten wollen und setzt sich aus insgesamt zwölf Modulen zusammen. Für die Teilnahme an dieser Weiterbildung werden die Lehrkräfte vom Land Brandenburg abgeordnet. Nachfolgend sind die inhaltlichen Schwerpunktfelder des Weiterbildungsprogrammes dargestellt:

1. Modul: Neuer Rahmenlehrplan für das Fach Naturwissenschaften in Klasse 5/6 (Themenorientierung)
2. Modul: Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und Konzepte
3. Modul: Themenfeld 1 *Von den Sinnen zum Messen* (fachlicher Schwerpunkt Physik)

⁸Die nachfolgende Darstellung basiert auf den Informationen des Veranstaltungskataloges für Lehrerfortbildungen des LISUMs (Landesinstitut für Schule und Medien Berlin-Brandenburg) sowie einem Telefongespräch mit dem Institut zur Weiterqualifizierung im Bildungsbereich an der Universität Potsdam.

⁹In Brandenburg umfasst die Grundschule die Jahrgangsstufen eins bis sechs.

4. Modul: Themenfeld 4 *Die Sonne als Energiequelle* (fachlicher Schwerpunkt: Chemie)
5. Modul: Themenfeld 4 *Pflanzen, Tiere, Lebensräume* (fachlicher Schwerpunkt: Biologie)
6. Modul: Kompetenzen entwickeln
7. Modul: Leistungsdokumentation und -bewertung
8. Modul: Schulinterne Fachplanung und Schulinternes Curriculum
9. Modul: Außerschulische Lernorte - Expert/innen
10. Modul: Unterrichtsplanung: Themenfeld/er (Grobstruktur)
11. Modul: Unterrichtsplanung: Unterrichtsstunden (Feinstruktur)
12. Modul: Erfahrungen aus der Praxis und Evaluation

In einem ca. monatlichen Rhythmus werden die einzelnen Module angeboten, von denen jedes zwölf Stunden (also 1,5 Tage) umfasst. Die Weiterbildung wird zeitversetzt mehrfach angeboten und enthält pro Durchlauf in etwa 100 Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Die Teilnahme an jedem Modul ist verpflichtend. Die Module 3, 4 und 5 bilden dabei fachliche Vertiefungen zu Themenschwerpunkten aus dem Lehrplan für das Fach *Naturwissenschaften*. Insgesamt setzt sich das Fach *Naturwissenschaften* aus neun Themenschwerpunkten zusammen. Die in den fachlichen Vertiefungen nicht angesprochenen Themenfelder werden in den anderen Modulen der Weiterbildung angesprochen, etwa bei Modulen wie *Leistungsdokumentation und -bewertung*. Das Konzept der Weiterbildung wurde durch das LISUM erstellt und durch das Institut zur Weiterbildungsqualifizierung im Bildungsbereich (WiB e. V.) der Universität Potsdam organisiert. Für die Module werden dabei Dozenten verschiedener Universitäten als externe Referenten eingeladen. Das LISUM begleitet dabei das Programm evaluativ durch Fragebögen, deren Ergebnisse den Dozenten zur Verfügung gestellt werden. Zudem finden regelmäßige Dozententreffen statt. Lediglich durch eine subjektive Einschätzung im Rahmen des Telefonates konnte hier angemerkt werden, dass vereinzelt geringe Motivationen zur verpflichtenden Teilnahme an der Fortbildungsreihe vorliegen, die sich hauptsächlich in der Kritik zum Fach *Naturwissenschaften* begründen. Eine systematische Evaluation oder wissenschaftliche Begleitforschung findet nicht statt.

Die weiteren Programme

Die Fortbildung Chemie-Werkstätten für das Fach NW in Bremen¹⁰ richtet sich an Lehrkräfte für das Fach *Naturwissenschaften* an der Oberschule (5-8) und am Gymnasium

¹⁰siehe <https://www.lis.bremen.de/fortbildung/detail.php?gsid=bremen56.c.133303.de> und Veranstaltungsflyer unter https://www.lis.bremen.de/sixcms/media.php/13/Flyer%20180606_Chemiewerkstatt_Druck.pdf

(5-6). Differenziert für die jeweiligen Doppeljahrgänge 5/6 und 7/8 werden insbesondere Lehrkräfte ohne eine chemische Fachausbildung in experimentellen Arbeiten trainiert. Grundlage für dieses Programm liefert das Desiderat, dass im Fach *Naturwissenschaften* typischerweise Lehrkräfte mit für sie fachfremden Inhalten und Experimenten konfrontiert sind. Neben psychomotorischen Lernzielen steht vor allem der Aspekt *Sicheres Experimentieren* im Vordergrund. Träger der Veranstaltung ist das Landesinstitut für Schule Bremen in Kooperation mit dem Verband der Chemischen Industrie Landesverband Nord (VCI Nord). In einem Werbevideo des VCI Nord¹¹ berichten Lehrkräfte, dass ihr Unterricht sicherer geworden ist und sie die Inhalte direkt in ihren Unterricht integrieren konnten.

Seit dem Schuljahr 2010/ 2011 wurde an Realschulen in Rheinland-Pfalz im Rahmen der Schulstrukturereform ein neuer Wahlpflichtbereich eingeführt, in dem sich das Fach *Technik und Naturwissenschaft* (TuN) eingliedert (MBWWK, 2011). Ziel dieses neuen Faches ist vor allem die Befähigung von Schülerinnen und Schülern zum technischen Handeln. Für dieses Fach wurde ein Weiterbildungskurs organisiert, der in 16 Präsenz- und sieben Online-Kursen mit einer abschließenden Prüfung den Lehrkräften die Unterrichtserlaubnis für dieses Fach erteilt¹². In Anlehnung an die Struktur des Faches liegt der Schwerpunkt inhaltlich eher auf technischen Fragestellungen wie Handwerkskunst, Elektronik, Programmieren und Energie als auf klassischen naturwissenschaftlichen Kontexten.

Ein weiteres Programm in Rheinland-Pfalz mit dem Titel *Physik und Chemie für die Sekundarstufe I* (CH@PH)¹³ ist an Lehrkräfte gerichtet, die Physik, Chemie und/ oder das Fach Naturwissenschaften fachfremd unterrichten. Die Weiterbildung spricht dabei explizit Lehrkräfte an, die an Realschulen, Integrierten Gesamtschulen und Förderschulen arbeiten und kann mit verschiedener Schwerpunktsetzung (Schwerpunkt Physik, Schwerpunkt Chemie, Schwerpunkt Physik und Chemie, Schwerpunkt für Förderschullehrkräfte) belegt werden. Mit einer Laufzeit von 2,5 Jahren, an deren Ende eine Abschlussprüfung die Unterrichtserlaubnis für Physik und/ oder Chemie gewährleistet, ist das Programm als Blended-Learning angelegt, setzt sich also aus Präsenz- und Online-Angeboten zusammen sowie aus fakultativen Zusatzbesprechungen mit den begleitenden Tutoren und unterteilt sich in vier Inhaltsdimensionen: Im Teil A (Allgemein) werden die Lehrkräfte mit den naturwissenschaftlichen Lehrplänen, grundlegenden Aspekten der Physik- und Chemiedidaktik sowie im Rahmen der naturwissenschaftlichen Methodik explizit mit der Bedeutung

¹¹siehe <https://www.youtube.com/watch?v=Jzcx5hyDyPs>

¹²siehe https://wpf.bildung-rp.de/fileadmin/user_upload/wpf-rsplus.bildung-rp.de/TuN/Bausteineuebersicht_TuN_III.pdf und <https://wpf.bildung-rp.de/weiterbildung/weiterbildungslehrgaenge-fuer-die-wahlpflichtfaecher/weiterbildungslehrgang-tun.html>

¹³siehe <https://wpf.bildung-rp.de/chph/weiterbildung.html> und Veranstaltungsflyer unter https://wpf.bildung-rp.de/fileadmin/user_upload/wpf-rsplus.bildung-rp.de/CH_PH/Flyer-CHaPH7-2017.pdf

von Modellen und Experimenten vertraut gemacht. Hier wird zudem ein Sicherheitsseminar über den Umgang mit Gefahrstoffen im naturwissenschaftlichen Unterricht angeboten und Forschungsprojekte im fächerübergreifenden Kontext bearbeitet. Der Teil N (NaWi) orientiert sich inhaltlich am Lehrplan für Naturwissenschaften (MBWJK, 2010) mit den Schwerpunkten: Rund um den Menschen, Die Umwelt im Blick, Geräte und Maschinen im Einsatz sowie Stoffe und Stoffeigenschaften. Teil P (Physik) schult die Lehrkräfte in den typischen physikalischen Grundlagen der Sekundarstufe I mit den Inhaltsfeldern Akustik, Optik, Mechanik, Kalorik, Elektrik, Kernphysik und Sensorik-Elektronik. Im Teil C (Chemie) werden analog zu Teil P die Grundlagen der Chemie vermittelt: Atombau und chemische Bindung, chemische Reaktionen, Säure-Base-Reaktionen, Salze und Formelsprache, Redox-Reaktionen und großtechnische Prozesse, Kohlenwasserstoffe, Natur- und Kunststoffe sowie Seifen und Waschmittel.¹⁴ Zu erwähnen ist, dass diese Weiterbildung neben dem üblichen Schuldienst abzuleisten ist und die Lehrkräfte somit freiwillig und ohne Abminderung der eigenen Unterrichtsstunden teilnehmen.

In Schleswig-Holstein haben sich ebenfalls zwei Kurse etabliert (siehe dazu den zugehörigen Fortbildungskatalog (IQSH, 2018, S. 96f.)). Der *Qualifizierungskurs Naturwissenschaften* widmet sich der Unterstützung der Lehrkräfte bei der fachdidaktischen und methodischen Erschließung fachfremder Inhalte. Der Zertifikatskurs *WPU I Angewandte Naturwissenschaften* bezieht sich auf das gleichnamige Schulcurriculum (IQSH, 2015), das an Regional- und Gemeinschaftsschulen von den Schulen selbst als Wahlpflichtangebot für die Klassenstufen sieben bis zehn angeboten werden kann, wenn eine Lehrkraft den Zertifikatskurs absolviert. In einem Zeitraum von vier Jahren mit je vier Ganztagsveranstaltungen (z. T. auch an außerschulischen Orten und mit externen Experten) werden die Inhalte mit methodisch-didaktischer Umsetzung für die Schule erlernt. Das Schulcurriculum *Angewandte Naturwissenschaften* setzt inhaltlich die Schwerpunkte auf Berufsorientierung, Verbraucherbildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung.

Generell fällt bei allen hier dargestellten Programmen auf, dass diese entweder für Lehrkräfte des naturwissenschaftlichen Anfangsunterrichts konzipiert sind oder sich eher auf naturwissenschaftliche Fächer mit hohem Technikbezug an Real- und Gemeinschaftsschulen beziehen. Die Motivation für viele der Programme ist häufig die Unterstützung von Lehrkräften, die gezwungen sind, fachfremd zu unterrichten. Die Programme, die sich explizit auf die Qualifizierung der Lehrkräfte für ein bestimmtes integriertes Fach ausrichten (Nawi in Brandenburg, TuN in Rheinland-Pfalz, WPU I in Schleswig-Holstein), zeichnen sich durch einen erhöhten Grad an didaktisch-methodischer Ausbildung aus. Bezieht man die Programme auf die Situation in Thüringen mit dem im Wahlpflichtbereich des Gymna-

¹⁴siehe https://wpf.bildung-rp.de/fileadmin/user_upload/wpf-rsplus.bildung-rp.de/CH_PH/CHaPH7-Bausteinbeschreibungen.pdf

siums unterrichteten Fach *Naturwissenschaften und Technik* (TMBJS, 2013), das sich in hohem Maße durch Kontext- und Projektorientierung an fachlich anspruchsvollen Themen auszeichnet, lassen sich kaum Parallelen ziehen. Einzig das Programm CH@PH zeichnet sich durch einen erhöhten Fachbezug aus. Anstelle eines fächerübergreifenden Konzeptes werden aber die jeweiligen Grundlagen der Disziplinen Chemie und Physik nacheinander und ohne eindeutigen Kontextbezug in das Programm eingebettet. Die Zielstellung dieses Programms liegt jedoch auch eher in der Verringerung fachfremd unterrichtender Lehrkräfte in den Einzeldisziplinen Chemie und Physik als in der Qualifikation von Lehrkräften für ein integriertes Fach im Bereich der Klassenstufen acht bis zehn. Prinzipiell ist es aber kaum möglich, die Weiterbildungskonzepte hinsichtlich hochschuldidaktischer und erwachsenenpädagogischer Kriterien zu bewerten. Der Grund dafür liegt darin, dass alle diese Programme entweder von Bildungsministerien selbst oder in Zusammenarbeit mit Weiterbildungsdienstleistern erstellt und durchgeführt werden. Daher bleibt bei allen Programmen die Frage offen, welche Konstruktionskriterien berücksichtigt wurden und welche Wirkungen die Interventionen erzielen. Eine evaluative Begleitung ist als äußerst wünschenswert zu nennen. In diesem Zusammenhang muss die Forderung nach einem wissenschaftlich fundierten Fort- und Weiterbildungskonzept unterstrichen werden, wenngleich die Reaktion der Fortbildungsanbieter auf neue bildungspolitische Gegebenheiten als bedarfsorientiert zu bewerten ist. Dazu ist zunächst zu klären, nach welchen zentralen Leitlinien sich fächerübergreifender Unterricht richten kann und wie sich diese in der Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften ausdifferenzieren.

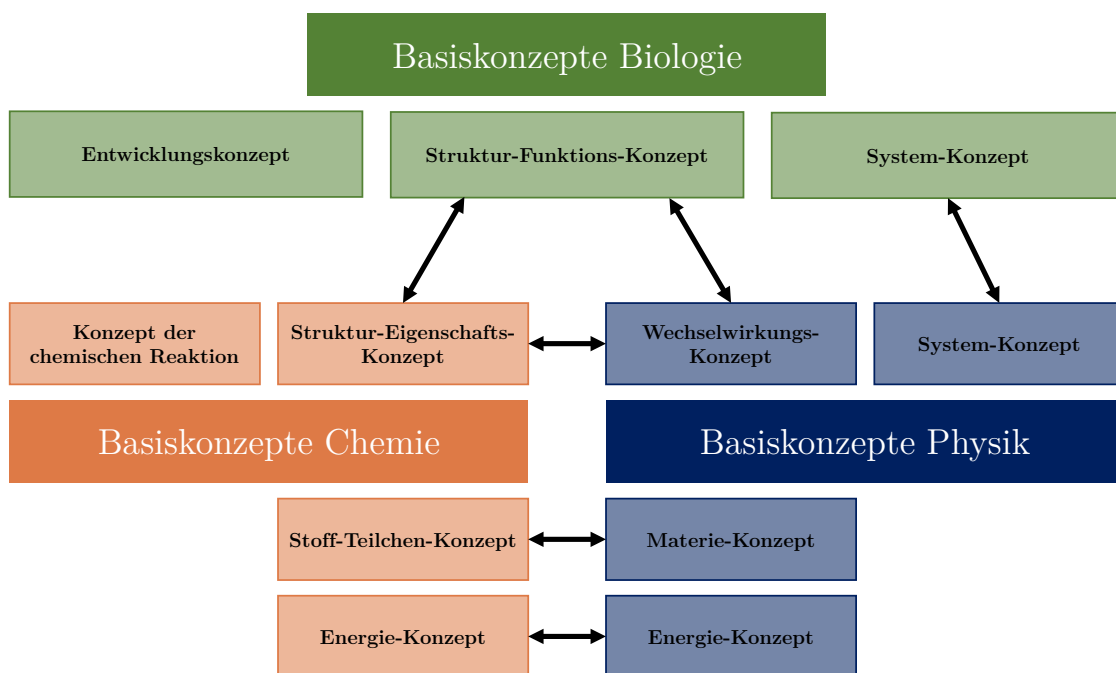
2.3 Die Vernetzung der einzelnen Naturwissenschaftsdisziplinen

Um die einzelnen Naturwissenschaftsdisziplinen in einem fächerübergreifenden Unterricht miteinander zu verknüpfen, müssen zunächst Denk- und Arbeitsstrukturen der einzelnen Fächer Chemie, Physik und Biologie dargestellt werden. Für die Unterrichtspraxis werden hierzu sogenannte Schlüsselkonzepte genannt, die als Leitideen „[...] den Zugang zu einem großen Wissensgebiet [eröffnen], seine Strukturierung [unterstützen] und seine Vermittlung [erleichtern]“ (Tausch, 2017, S. 5). Damit leisten Schlüsselkonzepte dasselbe wie die von der KMK (2005a, 2005b, 2005c) in den Bildungsstandards festgeschriebenen Basiskonzepte. Diese sollen über Fachinhalte hinaus eine „[...] strukturierte Vernetzung aufeinander bezogener Begriffe, Theorien und erklärender Modellvorstellungen, die sich aus der Systematik eines Faches zur Beschreibung elementarer Prozesse und Phänomene historisch als relevant herausgebildet haben.“ (Demuth, Ralle & Parchmann, 2005, S. 57) liefern. Schlüsselkonzepte zeigen dabei jedoch ein multiperspektivistisches Bild auf, da sie neben der Inhaltsdimension, die den Basiskonzepten zugrunde liegt, auch fachdidaktisch-

pädagogische oder methodische Dimensionen abdecken (Marx, 2017). Ein typisches Beispiel für ein Schlüsselkonzept aller drei Naturwissenschaften sind Arbeitsweisen und Wege der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung.

In der Diskussion um naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen wird immer wieder betont, dass naturwissenschaftlicher Unterricht an dem Vorgehen der fachwissenschaftlichen Domänen zu orientieren sei (Pfeifer, 2003; Stäudel, 2003; Lutz & Bader, 2003). In diesem Zusammenhang wird häufig angebracht, dass eine typische Vernetzung aller drei Naturwissenschaftsdisziplinen in ihrem charakteristischen Vorgehen, Erkenntnisse zu generieren, liegt (MNU, 2003). Werden aber die Spezifika der naturwissenschaftlichen Methoden der einzelnen Disziplinen herausgearbeitet, ergeben sich auch hier signifikante Unterschiede. So nimmt etwa der Grad an Mathematisierung von der Biologie über die Chemie zur Physik zu. Dagegen sind die zu betrachtenden Systeme von der Physik über die Chemie hin zur Biologie zunehmend komplexer. Auch das Beobachten als Teil des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges nimmt in der Biologie eine besondere Rolle ein, da sie beispielsweise für verhaltensbiologische Untersuchungen oder Klassifizierungen von Systemen eine eigene Untersuchungsmethode darstellt. Die Physik zeichnet sich wiederum durch eine besonders ausgeprägte Modell- und Theorieentwicklung aus (Engelmann, Hoffmann & Woest, 2018).

Trotz dieser Unterschiede ist es der naturwissenschaftliche Erkenntnisweg, der die Naturwissenschaften von anderen Wissenschaften abgrenzt. Auf einer methodischen Ebene kann somit eine erste Leitlinie zur Vernetzung der drei Unterrichtsfächer Chemie, Biologie und Physik gefunden werden. Besonders hervorzuheben ist die Bedeutung eines zumindest grundlegend gemeinsamen Erkenntnisweges für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. In den meisten Bundesländern wurde in den letzten Jahren ein integriertes Verbundfach aus Biologie, Chemie und Physik in den Jahrgangsstufen fünf und sechs eingeführt (Graube, Mammes & Tuncsoy, 2013). Für solche Fächer, die die erste Begegnung des Schülers mit den Arbeitsweisen der Naturwissenschaften darstellen, spielen vor allem Erkenntnisprozesse wie Beobachten, Messen und das didaktische Prinzip der Frage an die Natur eine zentrale Rolle. An dieser Stelle wäre eine Aufspaltung der Erkenntnisprozesse in Physik, Chemie und Biologie sogar höchst undienlich, da für Schülerinnen und Schüler noch gar keine Fachschubladen existieren (Labudde, 2003). Nichtsdestotrotz muss angemerkt werden, dass das eben diskutierte Schlüsselkonzept zwar methodische Vernetzungsmöglichkeiten aufweist, jedoch keine inhaltsbezogenen. Im Folgenden soll daher die Frage gestellt werden, ob inhaltsbezogene Schlüsselkonzepte, die dann häufig als Basiskonzepte bezeichnet werden, Leitlinien zur Vernetzung der drei Naturwissenschaften aufzeigen können.



Quelle: verändert nach (TMBJS, 2015b, S. 132)

Abbildung 2.1: Basiskonzepte und deren Verknüpfungen der drei naturwissenschaftlichen Disziplinen für die Jahrgangsstufen 5-10.

Zur Herausarbeitung gemeinsamer Regeln, Gesetzmäßigkeiten oder Argumentationslinien in einem Fach liefern Basiskonzepte eine Struktur zur vertikalen Vernetzung der verschiedenen Inhalte einer Disziplin. Basiskonzepte sollen also die Vielfalt an Inhalten auf wenige Konzepte reduzieren (Demuth et al., 2005). Als typisches Strukturelement finden Basiskonzepte etwa Anwendung beim Unterrichtskonzept *Chemie im Kontext* (P. Nentwig, Demuth, Parchmann, Gräsel & Ralle, 2007) oder dem Modell der vertikalen Vernetzung und des kumulativen Lernens (Neumann, Fischer & Sumfleth, 2008). Die Bildungsstandards der KMK (2005a, 2005b, 2005c) weisen für die Naturwissenschaften die in Abbildung 2.1 dargestellten Basiskonzepte auf.¹⁵

Am Beispiel des Struktur-Eigenschafts-Konzepts der Chemie soll kurz dargestellt werden, wie die vertikale Vernetzung der Disziplin ausgestaltet sein kann. Mithilfe des Struktur-Eigenschafts-Konzeptes können aus vorgegebenen Strukturen von Materie typische Eigenschaften eines Stoffes oder mehrere Stoffe abgeleitet und miteinander verglichen werden.

¹⁵An dieser Stelle sei darauf hinweisen, dass die Basiskonzepte zum einen wegen ihrer ausschließlichen Orientierung an den Inhaltsdimensionen der Fächer und ihrer Vernachlässigung weiterer relevanter Betrachtungsweisen im fachdidaktischen Diskurs stark diskutiert und kritisiert werden (Schecker & Wiesner, 2007; Tausch, 2017; Marx, 2017). Außerdem sind die hier dargestellten Basiskonzepte nicht als vollständigen Satz zu betrachten, der nicht etwa durch weitere Konzepte ergänzt werden kann.

Grundlegend muss bei Strukturuntersuchungen das zugrunde liegende Teilchenmodell definiert werden. Erst dann lassen sich gemeinsame, vertikale Begründungslinien finden. Wird unter Struktur etwa die Betrachtung von Strukturformeln organischer Stoffe verstanden, so kann auf der einen Seite geklärt werden, an welcher Stelle des Gastrointestinaltraktes ein Arzneistoff wie Acetylsalicylsäure bevorzugt aufgenommen wird. Dabei sind grundlegende Strukturelemente wie funktionelle Gruppen nach polarem bzw. unpolarem Charakter zu untersuchen. Das Ableiten polarer bzw. unpolarer Eigenschaften ist ein typisches Vorgehen innerhalb des Struktur-Eigenschafts-Prinzips. Auf die gleiche Weise kann auf der anderen Seite die Frage beantwortet werden, wie im Supermarkt Lachsprodukte von Lachersatz unterschieden werden können. Hier müssen die im Fischfleisch enthaltenden Farbstoffe ebenfalls auf ihre Polarität untersucht werden. Wohingegen bei Lachersatzprodukten das Fischfleisch durch die eher wasserlöslichen Farbstoffe Gelborange S und Ponceau 4R die typisch rote Färbung erhält, kommt die Färbung beim echten Lachs durch natürlich eingelagertes, unpolares Astaxanthin zustande. Somit können Lachsproben durch Einlagern in Wasser zugeordnet werden. Es zeigt sich, dass somit das Struktur-Eigenschafts-Konzept ähnliche Erklärungsmuster für unterschiedliche Fragestellungen bei gänzlich unterschiedlichen Inhalten erlaubt. Sollen aber mithilfe der eben beschriebenen Argumentationsführungen Eigenschaften von Kohlenstoff(nano)materialien aus deren Struktur abgeleitet werden, müssen andere Strukturen für den Aufbau der Materie beachten werden. (siehe Kapitel 6.2.2) Dieses Beispiel unterstreicht die Tatsache, dass das Struktur-Eigenschafts-Konzept stets mit dem Teilchenkonzept zusammenhängt, weshalb diese beiden Basiskonzepte auch häufig als ein gemeinsames Konzept dargestellt werden (Herdt, 2017).

Bei den Basiskonzepten der Physik zeigt sich allerdings, dass hier die vertikale Strukturierung an zentralen Konzepten kritischer zu diskutieren ist. Schecker und Wiesner (2007) weisen in einem Positionspapier zu den 2004 veröffentlichten Bildungsstandards der KMK auf dieses Problemfeld hin. Das Wechselwirkungskonzept, das etwa für die Erarbeitung des 3. newtonschen Axioms angebracht ist, thematisiert weiterhin die Wechselwirkung zwischen Teilchen und Feldern sowie zwischen Materie und Strahlung. Sie kritisieren, dass trotz der offensichtlichen Zuordnung des Reflexionsgesetzes zum Wechselwirkungskonzept dieses für die Erarbeitung des Reflexionsgesetzes unangebracht ist, da die Beeinflussung der Strahlung auf den Spiegel hier nicht von Bedeutung ist. So verzichtet auch das Programm *Physik im Kontext* auf den Einsatz der Basiskonzepte, die diese zur vertikalen Strukturierung nicht hinreichend operationalisiert sind (Hössle et al., 2009). Die Deutsche Physikalische Gesellschaft (2016b) schlägt in ihrer Studie *Physik in der Schule* eine Neustrukturierung der Inhalte des Physikunterrichts vor. Hierbei werden drei Dimensionen zur Entfaltung physikalischer Kompetenzen genannt: Methoden, Kontexte und Basiskonzepte.

Die Basiskonzepte sollen explizit den Erwerb kumulativen Wissens in Physik unterstützen und werden in der Studie konkret ausdifferenziert. In Anlehnung an die Basiskonzepte der KMK definiert die Studie einen festen Satz an zentralen Konzepten. Das oben diskutierte Wechselwirkungskonzept wird etwa durch den Zusatz Kräfte konkretisiert, wohingegen das neue Konzept *Schwingungen und Wellen* zugunsten des Systems-Konzeptes eingebracht wird. Es zeigt sich, dass die Basiskonzepte hier der Ausgangspunkt für die Neustrukturierung des physikalischen Curriculums darstellen. Dabei kann jedoch als Kritik angebracht werden, dass auf diese Weise die Gefahr besteht, Basiskonzepte gäben eine top-down-Struktur für die Unterrichtsplanung vor. Schecker und Wiesner (2007) lehnen dies explizit ab, da damit der Unterricht nicht mehr vom Konkreten zum Abstrakten zu gestalten sei. Basiskonzepte müssen vielmehr als Brillen verstanden werden, mit denen eine Fachdisziplin auf einen Inhalt blickt.

Werden Basiskonzepte im Kontext fächerübergreifenden Unterrichts diskutiert, kann die Frage gestellt werden, ob sie horizontale Vernetzungen zwischen den Disziplinen Biologie, Physik und Chemie erlauben. In der gerade diskutierten DPG-Studie werden zu den einzelnen Basiskonzepten der Physik Schnittmengen mit anderen Fachdomänen aufgezeigt. Beispielsweise wird beim Materie-Konzept unter dem Aspekt der Aggregatzustände, Löslichkeit und Umwandlungsprozesse ein direkter Bezug zum Elementbegriff der Chemie deutlich (Autorengruppe der DPG, 2016a, S. B9). Im Thüringer Bildungsplan von 2015 werden zwischen den einzelnen Basiskonzepten Wechselwirkungspfeile angedeutet, so auch zwischen dem Materie-Konzept und dem Stoff-Teilchen-Konzept (siehe Abbildung 2.1) (TMBJS, 2015b). Allerdings wurden diese aufgezeigten Wechselwirkungen nicht expliziert. Prinzipiell greifen aber beide Konzepte auf eine gleiche Modellvorstellung zurück, das Teilchenmodell. Für den Physik- wie für den Chemie-, aber auch für den Biologieunterricht ergeben sich hier gemeinsame Herausforderungen. Welche Modellvorstellung zum Teilchenmodell ist für das jeweilige Thema ausschlaggebend? Welche typischen Schülervorstellungen liegen dem Teilchenmodell zugrunde? Welche historischen Vorstellungen zum Aufbau der Materie gab es? Wie definiert man den Begriff *kleine Teilchen*? Anhand dieser Fragen zeigt sich, dass die Betrachtung der Basiskonzepte der einzelnen Naturwissenschaften mit ihren Zusammenhängen eine geordnete Struktur auf hochschuldidaktischer Ebene zur Diskussion um fächerübergreifenden Unterricht zulässt.

Nun stellt sich die Frage, ob mithilfe der Basiskonzepte auch eine horizontale Vernetzung der einzelnen Naturwissenschaftsdisziplinen für den Unterricht möglich ist. Am Energiekonzept der Chemie und Physik zeigt sich, dass hier etwa Energieumwandlungsprozesse zwar auf unterschiedliche Weisen diskutiert werden (in der Chemie in Bezug auf Stoffumwandlungen, in der Physik differenziert nach Mikro- und Makroebene bei der Umwandlung potenzieller in kinetischer Energie oder in Bezug auf physikalische Prozesse z. B. bei So-

larzellen), hier jedoch Überschneidungen erkennbar sind. So kann bei der energetischen Betrachtung chemischer Reaktionen das Augenmerk auf Lichtaussendung oder das Verdrängen von Volumenarbeit gelegt werden. Diese konzeptübergreifenden Ansätze tauchen jedoch ohnehin in den entsprechenden Basiskonzepten und Fachdisziplinen auf, sodass die Wechselwirkungen zwischen Basiskonzepten nicht hinreichend für ein fächerübergreifendes Fach Naturwissenschaften sind. Vielmehr werden Energieumwandlungen bei chemischen Reaktionen aus verschiedenen physikalischen, chemischen oder biologischen Sichtweisen betrachtet, woran sich abermals das Verständnis von Basiskonzepten als Brillen zeigt. Soll für ein Fach Naturwissenschaften analog zu den Einzeldisziplinen eine Tiefenstruktur, d. h. eine vertikale Vernetzung der Inhalte erfolgen, muss ein neuer Satz an Basiskonzepten entworfen werden, der zum einen die Sichtweisen der Einzeldisziplinen abdeckt und auch zusammenbringt. Dieses Vorgehen würde jedoch nach sich ziehen, dass die Fachstrukturen im fächerübergreifenden Unterricht aufzuheben sind.

Vergleicht man die Kompetenzmodelle für Physik, Chemie und Biologie der KMK (2005a, 2005b, 2005c) mit dem aus der Schweiz für die Naturwissenschaften der EDK (2011), so stellt man fest, dass in der Schweiz anstelle von Basiskonzepten Themenbereiche wie Bewegung, Kraft, Energie oder Mensch und Gesundheit formuliert werden. Diese Themenbereiche sind so angelegt, dass sie einen starken Kontextbezug aufweisen (Labudde & Möller, 2012), der auch von Schecker und Parchmann (2006) für die Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz diskutiert wird. Die in der Schweiz aufgeführten Themenbereiche entsprechen in ihrer Bedeutung jedoch keinen Basiskonzepten, da sie nicht als Brillen fungieren, mit denen man aus unterschiedlichen Perspektiven auf einen Inhalt blickt, sondern als von den Fachsystematiken losgelöste, fächerübergreifende Kontexte, die im Laufe der Schuljahre an inhaltlicher Vertiefung gewinnen.

Damit ergibt sich die Frage nach der Sinnhaftigkeit eines fächerübergreifenden Naturwissenschaftscurriculums, das sich zunächst losgelöst von den Fachsystematiken inhaltlich an Kontexten orientiert. Immerhin wurde der Erfolg kontextorientierten Unterrichts in Programmen wie *Chemie im Kontext* oder der Science-Technology-Society-Bewegung festgestellt (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007; P. Nentwig et al., 2007). Die vorherigen Ausführungen legen jedoch bereits dar, dass sich die einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen hinsichtlich ihrer Methoden, Inhalte, Basiskonzepte und somit Sichtweisen trotz einiger Gemeinsamkeiten grundlegend unterscheiden (MNU, 2003). Ein fächerübergreifender, an Kontexten orientierter Unterricht kann demnach nur dann gelingen, wenn die Charakteristika der Einzeldisziplinen Chemie, Physik und Biologie berücksichtigt und erhalten bleiben. Diese Vorstellung von fächerübergreifendem Naturwissenschaftsunterricht findet sich beispielsweise im Projekt PING (Lauterbach, 1992) und wurde auch von Kremer und Stäudel (1992) gefordert. Daraus folgt, dass die horizontale Vernetzung der Naturwis-

senschaften in einem fächerübergreifenden Rahmen weder durch Sicht- und Arbeitsweisen noch durch Basis- und Schlüsselkonzepte zu erreichen ist, sondern anhand spezifischer Themen, Inhalte und Kontexte. Die Inhalte können dabei schlicht Objekte aus der natürlichen Welt sein (Bäume, Gesteinsformationen, Wettererscheinungen) oder aber Themenbereiche mit Bezügen zu Physik, Chemie und/ oder Biologie darstellen. Verknüpft man diese Vorstellung mit dem didaktischen Prinzip der *Frage an die Natur*, lässt sich beispielsweise bei einem Themengebiet wie *Regenerative Kraftstoffe* folgender übergreifender, unvollständiger Fragenkatalog erstellen:

- Was bedeutet regenerativ?
- Welche Rohstoffe kommen zum Einsatz?
- Wie erfolgt der technische Herstellungsprozess?
- Welche ökologischen Auswirkungen lassen sich ableiten?
- Wie funktioniert ein klassischer Verbrennungsmotor und sind Umbauten beim Einsatz regenerativer Kraftstoffe nötig?

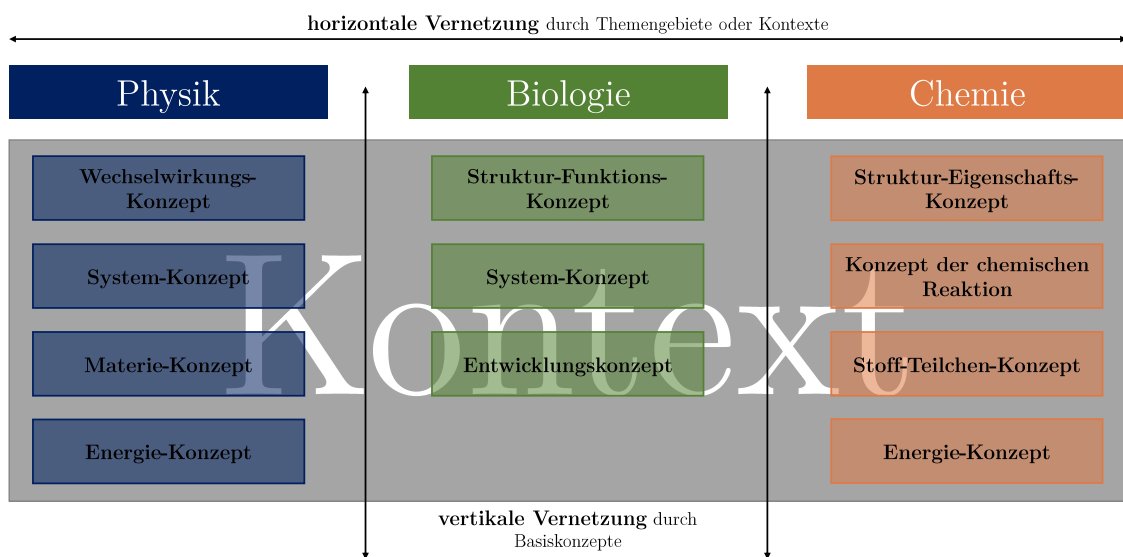


Abbildung 2.2: Zur Rolle der Basiskonzepte in der Diskussion um die Vernetzung der drei Naturwissenschaftsdisziplinen im fächerübergreifenden Kontext.

Solche und ähnliche Fragen können nur unter Einbezug spezifischer Arbeitsweisen und Konzepte aus Chemie, Physik und Biologie beantwortet werden, die jeweilige fachimmanente Sichtweisen auf den Kontext zulassen (MNU, 2003). Eine vollständige Erfassung solch übergreifender Themen kann erst durch die gemeinsame Betrachtung aus allen drei Naturwissenschaftsperspektiven erfolgen, ohne dabei jedoch die Fachgrenzen aufzuheben. Die Basiskonzepte liefern dabei die auf die jeweilige Fachperspektive bezogene Tiefenstruktur (vertikale Vernetzung), der Inhalt die horizontale Vernetzung zwischen den Teildisziplinen (siehe 2.2).

Aus dieser Darstellung wird ersichtlich, dass das Kernstück eines fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts eine konkrete Abstimmung zwischen den Fächern Biologie, Chemie und Physik sein muss. Wie die MNU (2004) diesbezüglich anbrachte, kann nur so ein tieferes Fachverständnis durch fächerübergreifenden Unterricht erfolgen, der häufig in der Kritik steht, kaum fachliche Tiefe bei Schülerinnen und Schülern zu gewährleisten (Metzger, 2010).

Kapitel 3

Anforderungen an Fort- und Weiterbildungen von Lehrkräften für fächerübergreifende Naturwissenschaften

3.1 Modelle professioneller Lehrerfortbildungen

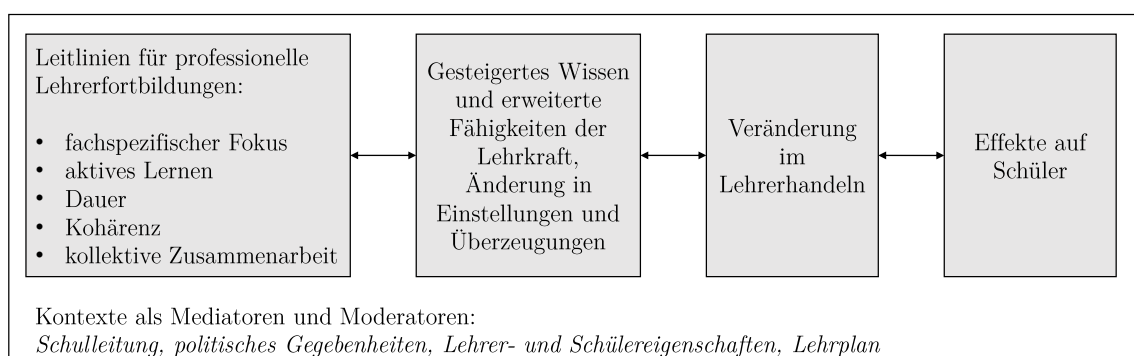
3.1.1 Empirische Befunde zur Lehrerfortbildung - ein konzeptioneller Rahmen

Die Frage nach Merkmalen professioneller bzw. erfolgreicher oder wirkungsvoller Lehrerfortbildungen gestaltet sich ähnlich komplex wie die Frage nach Merkmalen guten Unterrichts. Denn ebenso wie das Schülerlernen wird auch das Lehrerlernen durch zahlreiche Faktoren beeinflusst, sodass kein vollständiges Theoriegerüst für erfolgreiche Lehrerfortbildungen vorgelegt werden kann. Desimone (2009) hat jedoch ausgehend von empirisch belegten Zusammenhängen ein Modell erstellt, dass als Grundlage wirkungsvoller Lehrerfortbildungen dienen soll. Sie fasst darin fünf Leitlinien, im Englischen *core* bzw. *critical features*, von Lehrerfortbildungen zusammen:

- **content focus:** Eine wirksame Fortbildungsmaßnahme sollte sich an fachspezifischen Elementen orientieren sowie das Lernen dieser Elemente durch Schüler in den Blick nehmen.
- **active learning:** Aktive Lerngelegenheiten können unterschiedliche Formen annehmen: z. B. Beobachtung von Unterricht, Diskussionen, eigenes Bearbeiten des Lerngegenstandes. Solche Organisationsformen des Lehrerlernens sind für erfolgreiche Lehrerfortbildungen kennzeichnend.

- **coherence:** Außerdem sollten die Inhalte der Fortbildung an die Überzeugungen und den Wissensstand der Teilnehmenden anknüpfen.
- **duration:** Der zeitliche Umfang der Fortbildung bezieht sich zum einen auf die aktive Dauer der Fortbildung und die Verteilung der Fortbildungsinhalte auf einen eher kürzeren oder längeren Zeitraum. Prinzipiell sind mehrtätige Fortbildungen mit einer Verteilung über ein Halbjahr eintägigen Fortbildungen vorzuziehen.
- **collective participation:** Das letzte Merkmal unterstreicht die Bedeutung von kollektiven Zusammenarbeiten im Rahmen der Fortbildung im Gegensatz zur individuellen Bearbeitung der Fortbildungsthemen.

Diese fünf Aspekte finden sich in etwas anderer Systematisierung bereits bei Garet, Porter, Desimone, Birman und Yoon (2001) und finden immer wieder Eingang in Studien zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen (Smith & Gillespie, 2007; Penuel, Fishman, Yamaguchi & Gallagher, 2007; Besser, Leiss & Blum, 2015). Bei Desimone (2009) bilden sie den Grundstein für den von ihr aufgestellten konzeptionellen Rahmen für Lehrerfortbildungen (siehe Abbildung 3.1), der einem Pfadmodell entspricht. Ausgehend von einer an den *core features* orientierten Lehrerfortbildung steigert bzw. verändert sich die professionelle Handlungskompetenz der Lehrkräfte. Dies führt zu einem erweiterten und verbesserten unterrichtspraktischen Handeln, in dessen Folge Effekte auf das Schülerlernen zu verzeichnen sind. Dieser Prozess wird dabei von Kontextbedingungen beeinflusst. Auch wenn dieses Modell vor allem als gemeinsamer Rahmen für die wissenschaftliche Untersuchung von Einflussfaktoren bei Lehrerfortbildungen erstellt wurde, liefert es einen ersten, wenn auch noch unzureichenden, aber dafür empirisch abgesicherten Eindruck zur Planung professioneller Lehrerfortbildungen.



Quelle: verändert nach Desimone (2009)

Abbildung 3.1: Vorschlag von Desimone (2009) für einen empirisch abgesicherten, konzeptionellen Rahmen für Lehrerfortbildungen.

Desimone (2009) unterstreicht explizit, dass es ihrem Modell an weiteren Einflussgrößen fehlt, da diese noch nicht hinreichend genau empirisch untersucht wurden. Dazu zählen

Lehrerpersönlichkeit, der Einsatz von Schülertätigkeiten in der Fortbildungsmaßnahme und die Rolle des Schulleiters zur Gestaltung von Lerngelegenheiten durch Bereitstellung zeitlicher, finanzieller und materieller Ressourcen bzw. die Förderung und Steuerung von Maßnahmen aus Fortbildungen. Weiterhin nennt sie die Rolle von Unterrichtsmaterialien und deren Implementation, die Erwartungshaltung der Fortbildungsanbieter und die Reflexionskompetenz von Lehrkräften als mögliche Einflussgrößen, denen es noch an hinreichenden empirischen und konzeptionellen Untersuchungen fehlt. Außerdem stellt sich die Frage, auf welche Weise die einzelnen Ebenen des Modells miteinander in Wechselwirkung stehen. Hier verweist Desimone (2009) lediglich darauf, dass diese interaktiv und nicht-rekursiv miteinander zusammenhängen.

In aktuelleren Artikeln weisen Desimone und Stuckey (2014) sowie Desimone und Garret (2015) darauf hin, dass verschiedene Studien sowohl den Erfolg der Verwendung der fünf *core features* bestätigen, als auch den Misserfolg kennzeichnen, da die *core features* aufgrund ihrer Allgemeinheit nicht problemlos in die Praxis übersetzt werden können. Aus diesem Grund wurden die fünf *core features* durch fünf *ideas* verfeinert:

- Direkte Veränderungen im unterrichtspraktischen Handeln sind leichter zu erreichen als eine Verbesserung des Fachwissens oder Techniken für einen an naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen orientierten Unterricht. Fortbildungen sollten also einen konkreten Handlungsbezug aufweisen.
- Die Reaktion auf eine Fortbildung unterliegt starken Schwankungen in Abhängigkeit von der individuellen Lehrkraft.
- Fortbildungen sind erfolgreicher, wenn sie sich auf konkrete Unterrichtsstunden beziehen.
- Die Beforschung sowie die Implementation von Fortbildungen muss die lokalen Gegebenheiten der Lehrkräfte und Schüler berücksichtigen (wie Mobilität, lokale Partner und Ressourcen).
- Führungskräfte, wie Schulleiter, spielen eine tragende Rolle dabei, Lehrkräfte bei der Implementation von Fortbildungsinhalten zu unterstützen.

Im deutschsprachigen Raum hat sich ein weitaus komplexeres Modell von Lipowsky (2010) etabliert. In Anlehnung an das Angebots-Nutzungs-Modell für die Unterrichtsentwicklung nach Helmke (2012, S. 71) schlägt Lipowsky ein Angebots-Nutzungs-Modell für die Lehrerfortbildung vor, das zur Beschreibung der Wirksamkeit einer Fortbildung dienlich ist und Merkmale erfolgreicher Fortbildungen darstellt.

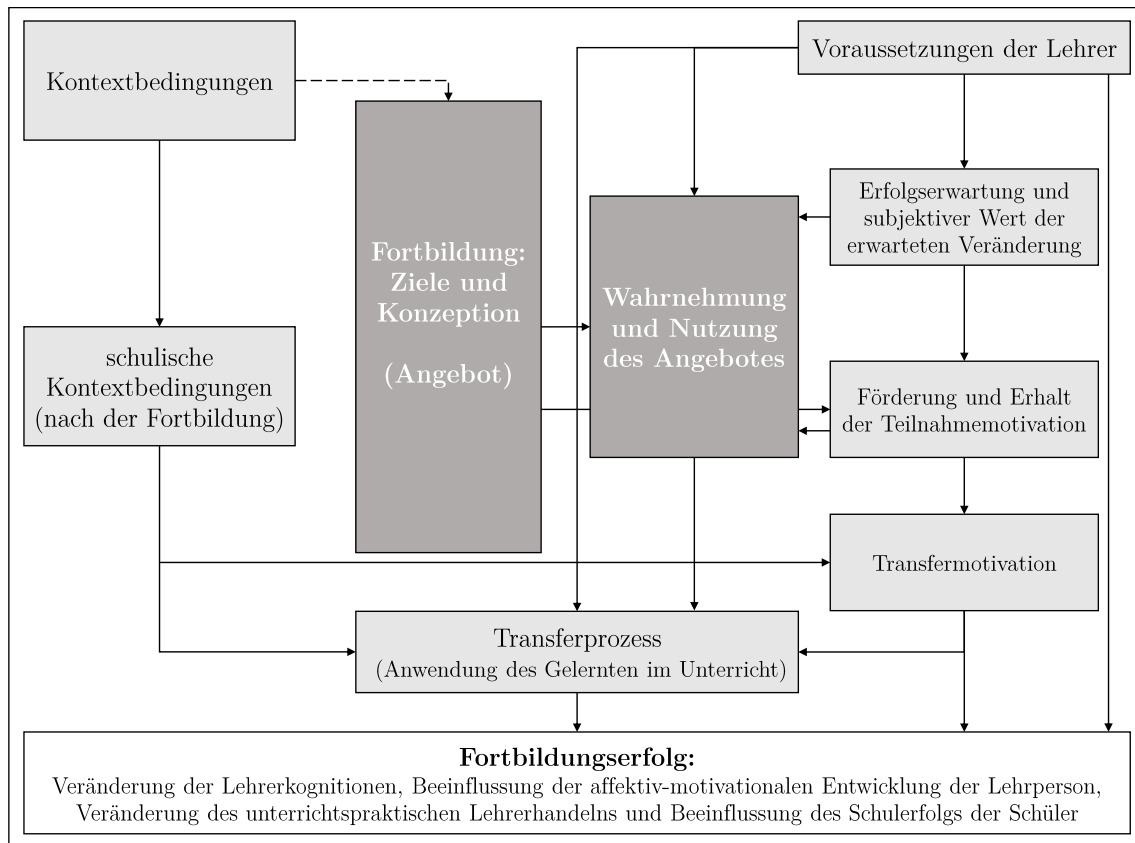
3.1.2 Das Angebots-Nutzungs-Modell für die Lehrerfortbildung

Bereits in den 50er und 60er Jahren wurde von Kirkpatrick (1970) eine vierstufige Einteilung für die Evaluation von Fortbildungen entwickelt. So lässt sich ein Fortbildungserfolg oder eine Fortbildungswirkung auf vier verschiedenen Stufen messen: Reaktion (reaction), Lernerfolg (learning), Verhalten (behavior) und Ergebnisse (results). Diese Einteilung findet sich auch bei Lipowsky (2010) in etwas veränderter Ausdrucksweise wieder.

1. **Stufe: Reaktionen und Einschätzungen der Teilnehmenden.** Auf der ersten Stufe wird eine Fortbildung dann als wirksam definiert, wenn die teilnehmenden Lehrkräfte mit der Fortbildung zufrieden sind, eine hohe Akzeptanz bezüglich der Fortbildungsinhalte entwickeln sowie der Fortbildung eine hohe Relevanz zuschreiben.
2. **Stufe: Erweiterung der Lehrerkognition.** Auf dieser Stufe erfahren die teilnehmenden Lehrkräfte eine Erweiterung in ihrer professionellen Handlungskompetenz (vgl. dazu das Modell der professionellen Handlungskompetenz von Baumert und Kunter (2006)). Hierunter sind sowohl Aspekte des Professionswissens (pädagogisches Wissen, Fachwissen, fachdidaktisches Wissen, diagnostisches Wissen etc.) als auch motivationale Orientierungen, selbstregulative Fähigkeiten und Überzeugungen bzw. subjektive Theorien zu verstehen.
3. **Stufe: unterrichtspraktisches Handeln.** In Stufe drei werden Veränderungen im Lehrerhandeln aufgrund der besuchten Fortbildung betrachtet.
4. **Stufe: Effekte auf Schüler.** Als letzte Ebene der Wirksamkeit sind Veränderungen im Lernen der Schüler kennzeichnend.

Im Zentrum des Modells (siehe Abbildung 3.2) steht das Fortbildungsangebot sowie die Wahrnehmung und Nutzung des Angebots durch die Teilnehmenden. Lipowsky (2010) unterscheidet beim Angebot strukturelle und inhaltlich-didaktische Merkmale. Strukturell sollten wirksame Fortbildungen externe Expertise in Form von z. B. Wissenschaftlern und Moderatoren einbinden, zeitintensiv sein und sich eher über einen längeren Zeitraum zugunsten eines gebündelten Blocks erstrecken. Gerade den Moderatoren wird eine wichtige Bedeutung zugemessen, da zum einen die Kompetenz des Referenten für eine erhöhte Akzeptanz sorgt und zum anderen Feedback durch die Fortbildungsleitung an die Lehrpersonen eine zentrale Rolle spielt. Auch Austauschmöglichkeiten zwischen den Kollegen sowie Partizipationsmöglichkeiten, z. B. in der Mitbestimmung der Fortbildungsgestaltung, erhöhen die Zufriedenheit. Nicht zuletzt sollten Fortbildungen in einer angenehmen Arbeitsatmosphäre stattfinden. Inhaltlich erreichen für die Lehrkräfte praxisnahe Fortbildungen eine höhere Zufriedenheit und sind damit wirksamer. Unter Praxisnähe ist hier jedoch nicht ein bloßer Lehrplanbezug zu verstehen, sondern ein ausgewiesener fachdidak-

tischer Fokus, bei dem das Schülerlernen im Mittelpunkt steht. Die Fortbildungen sollten sich also stets auf den alltäglichen Unterricht beziehen und dabei einem engen inhaltlichen Fokus einem ausgedehnteren den Vorzug geben. Auch stellen Reflexionsphasen bzw. Konfrontationen mit dem eigenen Unterricht ein wichtiges Merkmal wirksamer Fortbildungen dar. Ebenso wie guter Unterricht an den Lernvoraussetzungen der Schüler ansetzt, müssen gute Lehrerfortbildungen die Konzepte der Lehrpersonen berücksichtigen.



Quelle: verändert nach Lipowsky (2010)

Abbildung 3.2: Das erweiterte Angebots-Nutzungs-Modell für die Lehrerfortbildung.

Diese eben dargestellten Kriterien stellen die **Merkmale wirksamer Lehrerfortbildungen** dar (vgl. hierzu auch (Lipowsky, 2009; Lipowsky & Rzejak, 2012; Timperley, 2008)) und gliedern sich zunächst in die 1. Stufe der Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen ein. Die Angebotsseite wird im Angebots-Nutzungs-Modell durch durch Kontextbedingungen beeinflusst. Hierzu zählen etwa schulische Anforderungen (z. B. spezifische Umsetzungsstrategien neuer Lehrpläne, Umgang mit Heterogenität in einem inklusiven Setting etc.), finanzielle Rahmenbedingungen und das Schulklima. Auf der anderen Seite hängt die Nutzung des Angebotes maßgeblich von der Teilnehmerzufriedenheit, der wahrgenommenen Relevanz und der Intensität aktiven Lernens ab. Zu beachten ist jedoch, dass die Nutzung nicht allein durch das Angebot reguliert werden kann, wie es die oben geschild-

derten Merkmale andeuten könnten. Zusätzlich sind individuelle Voraussetzungen (z. B. private Lebensumstände, Überzeugungen, Persönlichkeit, Zielvorstellungen zur Fortbildung und Selbstregulationsfähigkeiten) der Lehrkräfte ein entscheidender Faktor, der die Nutzung beeinflusst. Außerdem kann hier der Fortbildungstyp der Lehrperson genannt werden. Richter, Engelbert, Weirich und Pant (2013) konnten in einer Studie fünf Fortbildungstypen identifizieren: Teilnahme an Fortbildungen aller Themenbereiche (1), mit eher fachlichem und fachdidaktischem Fokus (2), mit eher pädagogisch-psychologischem Fokus (3), mit eher methodischem und didaktischem Fokus (4) und wenig fortbildungsaktive Lehrpersonen (5). Zu vermuten ist, dass beispielsweise die Freiwilligkeit der Maßnahme die Teilnehmermotivation in Abhängigkeit vom Fortbildungstyp beeinflusst, da die Freiwilligkeit ebenfalls ein Faktor für die Akzeptanz der Fortbildung ist (Nir & Bogler, 2008). Weiterhin regulieren schulische Kontextbedingungen nach der Fortbildung (z. B. Unterstützung durch Schulleitung und Kollegen bei der Nachbereitung, Möglichkeiten zum Anwenden der Fortbildungsinhalte und der Klassenkontext) zusammen mit der Teilnahmemotivation, den individuellen Voraussetzungen und das Angebot sowie die Nutzung des Angebotes letztlich die Transferprozesse des Gelernten in den eigenen Unterricht.

Die Nutzung des Fortbildungsangebotes muss jedoch auf drei Ebenen unterschieden werden. So findet bereits vor der Fortbildung durch entsprechende Informationsmaterialien und die Vorkenntnisse der Teilnehmenden eine Bewertung des Angebotes und daraufhin eine Entscheidung über Teilnahme oder Nichtteilnahme statt. Auf der zweiten Ebene kann dann die Nutzung von Lerngelegenheiten während der Fortbildung genannt werden und auf der dritten Ebene die nach der Fortbildung ablaufenden Transferprozesse (Göb, 2018, S. 25). Gerade der erste Punkt der Angebotsbewertung wird explizit im Angebots-Nutzungs-Modell von S. G. Huber und Radisch (2010) aufgegriffen. S. G. Huber und Radisch differenzieren in ihrem Modell die Angebotswirkung stärker nach Merkmalen aus, die sowohl die verschiedenen Ebenen des Schulsystems (Schulsystem, Schulkollegium, Unterricht, Schüler etc.) sowie die bei der Implementierung des Fortbildungsangebotes ablaufenden Prozesse zwischen diesen Ebenen berücksichtigen. Sie beziehen sich dabei auf das Modell zur Qualitätsentwicklung in Schule und Unterricht von Ditton (2000) (S. G. Huber, 2011). Die Rolle des Schulsystems bzw. der ganzen Schule oder Schulleitung auf die Unterstützung der Implementation erlernter Fortbildungsinhalte wird beispielsweise auch bei Guskey (2000, 2002) hervorgehoben, indem hier zwischen der zweiten und dritten Wirkungsebene nach Lipowsky (s. o.) eine weitere Ebene zur Entwicklung der Schule als Ganzes zwischengeschaltet wird. Für einen genaueren Vergleich zwischen beiden Angebots-Nutzungs-Modellen sei auf Göb (2018) verwiesen.

Beide Modelle zeichnen sich durch eine gewisse Heuristik aus. So verweisen Lipowsky und Rzejak (2012) darauf, dass z. B. der Einfluss des Schulumfeldes für die Teilnahme an

und den Transfer von Fortbildungen in die Praxis unzureichend beforscht ist. Ebenso fraglich ist die Rolle der Moderatoren bzw. Fortbildungsanbieter und des Feedbacks dieser an die Lehrpersonen (Lipowsky, 2010). Prinzipiell verweisen sowohl Lipowsky (2009) als auch S. G. Huber (2011) auf die Grenzen ihrer Modelle und beschreiben diese als zu erweiternde, ausdifferenzierende und offene Modelle. So wird im Kontext bisher fehlender theoretischer Modelle, die neben dem Lehrerlernen auch das Schülerlernen integrieren müssen, darauf hingewiesen, dass umfangreiche Studien, die die Wirksamkeit mehrerer Fortbildungskomponenten vergleichen und sich beispielsweise auf die Kontextbedingungen der Lehrkräfte bezieht sowie anschließend die Implementation in die Praxis und letztlich die Kompetenzentwicklung der Schüler untersucht, sehr selten sind. Für solche Forschungsvorhaben adäquate Fortbildungen erfordern einen erheblichen Aufwand und letztlich auch eine hinreichend große Teilnehmerzahl als repräsentative Stichprobe.

Gerade Lipowsky (2010) geht auf die Beziehung der einzelnen Faktoren der jeweiligen Wirksamkeitsstufen zueinander ein. Die von ihm zitierten Studien zum Einfluss der Teilnehmerzufriedenheit auf den Wissenserwerb der Lehrkräfte oder Veränderungen im unterrichtspraktischen Handeln geben keinen Hinweis auf eine direkte Korrelation. Dennoch seien die Akzeptanz und Zufriedenheit zumindest notwendige Bedingungen für wirkungsvolle Lernprozesse und indirekt an die Intensität der Fortbildungsnutzung gekoppelt, was die Heuristik dieses Modells verdeutlicht. Beim Einfluss der erweiterten Lehrerkognitionen auf Veränderungen im Unterrichtshandeln wird die komplexe Wechselbeziehung der jeweiligen Merkmale des Modells aufeinander deutlich. So fasst Lipowsky mithilfe einschlägiger Studien zusammen, dass die Lehrerkognitionen einen Einfluss auf das Lehrerhandeln haben, allerdings auch umgekehrte Wirkungseffekte denkbar sind, bei denen sich motivationale Professionsmerkmale erst verändern, wenn Veränderungen im unterrichtspraktischen Handeln Erfolg zeigen.

3.2 Charakteristiken von Lehrerfortbildungen für Naturwissenschaften

3.2.1 Trends zu Wirkungen und Merkmalen professioneller, naturwissenschaftlicher Lehrerfortbildungen im US-amerikanischen Raum

Mit der Veröffentlichung des Dokumentes *A Nation at Risk* von der National Commission on Excellence in Education (1983) wurden zahlreiche Defizite bezüglich des damaligen Naturwissenschafts- und Mathematikunterrichts in den USA offengelegt. So wurde neben einem immensen Lehrermangel in diesen Fächern und dem Fehlen von entsprechenden Ressourcen für einen zeitgemäßen Unterricht vor allem die Qualität des Lehrpersonals bemängelt. Zur Verbesserung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts seien

daher entsprechende Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen unabdingbar. Dies führte im amerikanischen Raum zur Entwicklung zahlreicher staatlich geförderter Fortbildungsprogramme. Zu nennen ist hier vor allem das GK-12 Programm, das sowohl die Ausbildung bereits studierter Naturwissenschaftler sowie den Unterricht in Mathematik und Naturwissenschaften an Schulen bereichern soll (National Science Foundation, 2009; Mitchell et al., 2003). Konkret verfolgt das Programm dabei drei Ziele:

- **Wissenschaftler des STEM-Bereichs** (science, technology, engineering and mathematics) sollen ein vertieftes Verständnis über ihre eigenen naturwissenschaftlichen Forschungsschwerpunkte, auch im Rahmen gesellschaftlicher und globaler Kontexte, erhalten. Außerdem sollen sie ihre Kommunikationsfähigkeiten im Bereich Führung und Teambildung sowie ihre Lehrfähigkeiten im naturwissenschaftlichen Bereich verbessern.
- Im Bereich der **Schulbildung von der Primar- bis zur Sekundarstufe** (im Englischen K-12 education) sollen Lehrkräften Fortbildungsangebote sowohl mit naturwissenschaftlichem Inhalt als auch mit pädagogischen Bezügen unterbreitet werden. Zudem wird eine erhöhte Lernfolge von Schülern sowie deren Interesse an naturwissenschaftlichen Berufen angestrebt.
- **Hochschulen und Universitäten** sollen durch das Programm ihre Bildungslinien überarbeiten, nachhaltige Partnerschaften mit Schulen, der Industrie und gemeinnützigen Vereinen stärken sowie einen höheren institutionellen Einfluss der Hochschulbildung auf die Gesellschaft ausüben.

Mit einer Laufzeit von 13 Jahren (von 1999 bis 2012) entstanden zahlreiche Projekte, von denen hier nur eines exemplarisch genannt werden soll, das laut der National Science Foundation als typisches Beispiel für viele Projekte dient (National Science Foundation, 2013, S. 9). So wurde an der University of Iowa eine Initiative eingeführt, bei der ein Naturwissenschaftler der Universität ein Schuljahr lang zehn bis 15 Stunden pro Woche mit einer Naturwissenschaftslehrkraft zusammenarbeitet. Ziel dieses Tandems ist die Aufbereitung der Forschungstätigkeiten und -erfahrungen des Wissenschaftlers für die Schüler. Im Klassenverband übernimmt der Wissenschaftler dann einen Tag in der Woche im Unterricht die Rolle des wissenschaftlichen Experten und interagiert mit den Schülern und seiner Tandem-Lehrkraft. Ein typisches, forschungsorientiertes Thema solcher Projekte sind Modellierungen von Molekülbewegungen in Zellgeweben und Organsystemen in Abhängigkeit externer chemischer und physikalischer Reize durch interzelluläre Kommunikation (Colorado State University, o. J.). Für die Etablierung von GK-12-Projekten spielen Lehrerfortbildung über das GK-12-Programm selbst sowie mit einzelnen inhaltlichen Themenschwerpunkten oder mit fachdidaktischem Fokus auf z. B. Inquiry-Based-Learning eine tragende Rolle (National Science Foundation, 2013, S. 29). Prinzipiell zeichnet sich dieses

Programm sowohl durch seine Themen als auch durch seine Struktur der phasenübergreifenden Zusammenarbeit stark durch einen Fokus auf naturwissenschaftliche Arbeitsweise bzw. dem Lernen entlang des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses aus (siehe Kapitel 2.3). Eben diese Orientierung auf *Scientific Inquiry* wurde im US-amerikanischen Raum auch in den immer noch geltenden National Science Education Standards (National Academy of Sciences, 1996) als Leitlinie sowohl für guten Naturwissenschaftsunterricht als auch für professionelle Lehrerfortbildung festgelegt.

Entlang des GK-12-Programms wurden zudem einige Evaluationsstudien durchgeführt, die entweder Wirkungen von bestimmten Maßnahmen auf das Schülerlernen untersuchten oder Charakteristiken von guten, naturwissenschaftlichen Lehrerfortbildungen herauszustellen suchten. Cormas und Barufaldi (2011) glichen z. B. ab, inwieweit die von ihnen (2007) aus der Literatur abgeleiteten Charakteristiken effektiver Lehrerfortbildungen (siehe Tabelle 3.1) durch das GK-12-Programm abgedeckt werden.

Wohingegen sich die Arbeiten von Cormas und Barufaldi auf Lehrerfortbildungen in sämtlichen Schulstufen beziehen, untersuchten Jeanpierre et al. (2005) Charakteristiken von Lehrerfortbildungen, die Veränderungen im unterrichtspraktischen Handeln im Naturwissenschaftsunterricht der Sekundarstufe beeinflussen. Die von ihnen untersuchte Fortbildung hatte das Ziel, anhand von Forschungsthemen, Möglichkeiten für einen am naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess orientierten Unterricht zu fördern. Ihre Untersuchung ergab, dass

- ein **tiefgründiger Fachbezug** und die Entwicklung von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen mit vielen Anwendungsmöglichkeiten für die Lehrkraft, diese Arbeitsweisen zu erproben,
- die **Erstellung eines Lernproduktes**, z. B. einer wissenschaftlichen Abhandlung, anhand festgelegter Standards sowie
- eine **hohe Erwartungshaltung an das Lernen der Lehrkräfte** vonseiten der Fortbildungsanbieter, die ihrerseits komplexe Strukturen so vereinfachen können, dass es den Lehrkräften ermöglicht wird, ihren Lernprozess zu demonstrieren,

wesentliche Charakteristiken sind.

Aber auch bereits in den späten 90er Jahren wurden durch Loucks-Horsley, Hewson, Love und Stiles (1998) für effektive Lehrerfortbildungen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich sieben Prinzipien definiert: ein realistisches Bild effektiven Schulunterrichts darstellen, Gelegenheiten für die Lehrkräfte zum Aufbau von Wissen und speziellen Fähigkeiten schaffen, konkrete Unterrichtsstrategien modellieren, Lerngemeinschaften aufbauen, Führungskompetenzen der Lehrkräfte unterstützen, Bezüge zum Bildungssystem

Tabelle 3.1: Charakteristiken guter Lehrerfortbildungen nach Cormas und Barufaldi.

-
1. Das fachbezogene Wissen der Lehrkraft wird erhöht.
 2. Die Lehrkräfte verstehen die Lernprozesse der Schüler und lernen (fachspezifische) Unterrichtsstrategien kennen.
 3. Veränderungen in der professionellen Handlungskompetenz und im Schülerlernen legen den Erfolg der Lehrerfortbildung fest.
 4. Lehrerfortbildungen benötigen Zeit und Geld.
 5. Lehrerfortbildungen sind fortlaufend.
 6. Lehrerfortbildungen sind ein alltäglicher Bestandteil der Lehrkräfte.
 7. Effekte Lehrmethoden werden eingesetzt.
 8. Lehrerfortbildungen sind an Schulen, Schulbezirken und staatlichen Standards/Bildungszielen ausgerichtet.
 9. Lehrkräfte geben Input in die Lehrerfortbildung, Lehrerfortbildungen sollten gewinnbringend und sachdienlich sein.
 10. Die Zusammenarbeit von Lehrkräften auch mit externen Partnern wird involviert.
 11. Lehrerfortbildungen generieren weitere Zusammenarbeiten oder Projekte.
 12. Lehrkräfte werden als Experten behandelt.
 13. Die Selbstreflexion der Lehrkräfte wird gefördert.
 14. Lehrerfortbildungen bedienen sich des forschenden Lernens als Lehrmethode.
 15. Die Fähigkeit der Lehrkräfte, die Bedürfnisse verschiedener Lerngruppen zu erfüllen, wird erhöht.
 16. Die Lehrerfortbildung hat einen Alltagsbezug.
 17. Kommunikationsfähigkeiten der Lehrkräfte werden verbessert.
-

insgesamt schaffen und für eine kontinuierliche Evaluation und Verbesserung der Fortbildung sorgen. Diese Prinzipien sind auch Ausgangspunkt der Diskussion bei Jeanpierre et al. (2005), die darauf hinweisen, dass z. B. in Arbeiten von Birman, Desimone, Porter und Garet (2000), Liebermann (1995) und Darling-Hammond und McLaughlin (1995) ähnliche Prinzipien gefunden wurden. Weitere Evaluationsstudien bezüglich Lehrerfortbildungen im US-amerikanischen Raum nennen zudem explizit Konstruktionsmerkmale wie Fachbezogenheit, Bezug zur Unterrichtspraxis, Ausübung einer nachhaltigen Wirkung auf Einstellungen und Unterrichtspraxis, Verknüpfung mit speziellen Standards für Schülerleistungen und auf das Schulsystem bezogene Aufgabenstellungen (Supovitz & Turner, 2000; Banilower, Heck & Weiss, 2007).

Es zeigt sich, dass es für effektive Lehrerfortbildungen im naturwissenschaftlichen Bereich zahlreiche und stark ähnliche und vergleichbare Kriterien bei den dargestellten Autoren gibt. Es bleibt zu klären, wie sich diese Kriterien im deutschsprachigen Raum darstellen

und von denen der US-amerikanischen Untersuchungen unterscheiden (siehe Kapitel 3.2.3). Zuvor soll im Rahmen der in dieser Arbeit zu diskutierenden Fortbildung für fächerübergreifende Naturwissenschaften jedoch die Frage nach Besonderheiten für Fortbildungen gestellt werden, die sich auf neu eingeführte Fächer beziehen und damit bundesweite curriculare Reformen nach sich ziehen.

3.2.2 Anforderungen an naturwissenschaftliche Fortbildungen für curriculare Reformen

Neben den bisher dargestellten Charakteristiken stellt sich die Frage, ob Fort- oder auch Weiterbildungen für umfassende Curriculumreformen weiteren Anforderungen genügen müssen. Denn mit der Einführung von fächerübergreifendem Unterricht in den Naturwissenschaften in eigens dafür angelegten Fächern mit eigenen Lehrplänen und somit Kompetenzanforderungen müssen Lehrkräfte auf das neue Fach mit den zugehörigen Anforderungen vorbereitet werden. So spielen bei der Implementation neuer Curricula Aspekte wie der Einbezug der Lehrkräfte in die Lehrplangestaltung, die eigene Identifikation mit dem neuen Fach und die Vorbereitung der Lehrkräfte auf die Anforderungen des neuen Faches eine entscheidende Rolle (Hargreaves, 1994; Wikeley, 2005).

Hamilton et al. (2003) verweisen in ihrer Studie, bei der sie den Einfluss von reformbasierten Unterrichtspraktiken nationaler Standards (der National Science Foundation's Systemic Initiatives (SI) in den USA) auf das Schülerlernen untersuchen, darauf, dass hierbei wesentliche Schwankungen in der Implementation mit nur wenigen Informationen über die reale Unterrichtspraxis, ein Mangel an angemessenen und gemeinsamen Wirkungsmaßnahmen und die Notwendigkeit, Evaluationsergebnisse verschiedener Studien zusammenzufassen wesentliche Herausforderungen sind. Sie konnten einen nur geringen Zusammenhang zwischen dem Schülerlernen und den von Lehrkräften selbst berichteten, veränderten Unterrichtspraktiken feststellen. Daher leiten sie die Forderung ab, bei umfassenden Unterrichtsreformen zunächst Maßnahmen zu klären, mit denen beispielsweise Veränderungen von Schülerleistungen bewirkt werden können. Erst anschließend seien nötige Schritte für eine weitläufige Verbreitung dieser Maßnahmen zu bestimmen. Penuel et al. (2007) kommen in diesem Zusammenhang zu dem Schluss, dass für Lehrerfortbildungen zur Förderung von Curriculumimplementationen die wahrgenommene Kohärenz zwischen den Erfahrungen aus der Fortbildung und dem eigenen Lernen sowie der Programmimplementation entscheidend ist. Weiterhin sind der Zeitaufwand der Lehrkräfte für die Planung von Unterrichtspraktiken im Rahmen der eingeführten Implementationsmaßnahmen sowie wissenschaftliche Unterstützung relevant. Auch Lantz und Kass (1987) nennen Schulsituation, Qualität der in einer Fortbildung vorgestellten Unterrichtsmaterialien und deren Lehrplanpassung sowie das Professionswissen der Lehrkräfte als entscheidende Faktoren

für Curriculumimplementationen.

In den Niederlanden wurde seit 2006 ein neues interdisziplinäres Fach *Nature, Life & Technology* (NLT) als Wahlfach für die Jahrgangsstufen zehn, elf und zwölf eingeführt. Kernziel war die Steigerung der Attraktivität naturwissenschaftlicher Fächer (Michels, Kruger & Eijkelhof, 2011). Das Fach ist modular aufgebaut, wird in Lehrerteams unterrichtet, die über die Auswahl der Module entscheiden können, und soll

- den Naturwissenschaften und Mathematik ein breiteres und zugleich tiefer gehendes Programm liefern,
- den Schülern ein umfassendes Verständnis für wissenschaftliche Arbeiten und Berufe eröffnen,
- die Interdisziplinarität als wichtiges Element bei der Entwicklung von Wissenschaft und Technik verdeutlichen,
- durch Zusammenarbeit mit Universitäten, Forschungsinstituten und Wirtschaftsbetrieben die naturwissenschaftliche Bildung stärker an aktuelle Befunde und Entwicklungen in der Gesellschaft, Naturwissenschaft und Technik anbinden,
- eine größere Wahlmöglichkeit für Lehrkräfte und Schüler im Naturwissenschaftsunterricht ermöglichen sowie
- einen Beitrag zur Erneuerung der naturwissenschaftlichen Bildung leisten.

Damit ergeben sich deutliche Bezüge zu den Wahlpflichtfächern im Bereich Naturwissenschaften der Jahrgangsstufen neun und zehn in Deutschland (siehe Kapitel 2.1.1). Visser, Coenders, Terlouw und Pieters (2010) beschreiben im Rahmen der Implementation dieses Faches essentielle Charakteristiken für adäquate Lehrerfortbildungen. Sie verweisen darauf, dass die Involvierung der Lehrkräfte in den Fortbildungsprozess sowie die Passung zur Unterrichtspraxis entscheidend für derartige Fortbildungen sind. Weiterhin bedienen sie sich zum einen als Untersuchungsraaster den Lehrplankomponenten *Ziel, Inhalt, Pädagogik, Bedingungen* und *Bewertung* von Van den Akker (2003) sowie den curricularen Designphasen *Modulauswahl, Modulvorbereitung, Unterrichten, Effekte des Moduls* und *Reflexion*. Zum anderen nutzen sie die von Van den Akker (1998) aufgestellten Implementation-beeinflussenden Kategorien:

- **Lehrplanabsicht:** Zur besseren Identifikation der Lehrkräfte mit dem neuen Programm und damit zur Veränderung von Lehrerrouinen müssen schülergerechte Lernmaterialien, die je nach Anforderung abwandelbar sind, bereitgestellt werden. Auch Borko (2004) sowie Bautista und Ortega-Ruiz (2015) verweisen darauf, dass gerade für innovative Neuerungen im Unterricht Lehrkräfte intensive Beratung und Unterstützung benötigen.

- **Lehrplaneffekte:** Aspekte wie Schülermotivation und Lernstand der Schüler sowie Rahmenbedingungen wie sozioökonomischer Hintergrund und der Freundeskreis beeinflussen die Effektivität von curricularen Reformen.
- **Kontext:** Auch politische Bestimmungen, Schulorganisation und externe Unterstützung haben einen erheblichen Einfluss. Die Zusammenarbeit zwischen Lehrkräften und mit außerschulischen Partnern sowie Unterstützung durch die Schulleitung beeinflussen die Motivation und den Lernerfolg der Lehrkräfte positiv.
- **Professionswissen der Lehrkraft:** Sowohl das Wissen der Lehrkraft sowie dessen Überzeugungen (vgl. Baumert und Kunter (2006)) wirken sich auf den Erfolg der Implementation aus. Minor, Desimone, Lee und Hochberg (2016) konnten zeigen, dass z. B. bei Fortbildungen mit deutlichem Fokus auf fachdidaktischem Wissen Lehrkräfte mit einem geringen Vorwissen sich eher auf inhaltsbezogene Aspekte der Fortbildung konzentrieren, wohingegen Lehrkräfte mit einem umfangreichen Vorwissen auch von einem Anstieg im fachdidaktischen Wissen berichten.

Über die Fragen, welche Charakteristiken für die Auswahl eines NLT-Moduls wichtig sind, wie sich diese Charakteristiken in das Professionswissen der Lehrkräfte einbinden und welche Charakteristiken wiederum den Implementationsprozess des Moduls antreiben, leiten Visser et al. (2010) ab, dass eine den Implementationsprozess unterstützende Lehrerfortbildung für dieses Fach *erstens* die Wissensentwicklung der Lehrkräfte berücksichtigen muss. Dabei sollen zahlreiche Möglichkeiten zur Erweiterung des Fachwissens, zum Erlernen neuer Unterrichtspraktiken und Bewertungsmethoden unter Einbezug von Experten, Kollegen und sinnstiftender Literatur eröffnet werden. Ein deutlicher Bezug zum aktiven Lehrerlernen wird hier gefordert. *Zweitens* müssen Gelegenheiten zum Austausch und zur Kooperation untereinander geboten werden. Es wird erwähnt, dass dies durch die gemeinsame Entwicklung neuer Materialien oder Bewertungsinstrumente erreicht werden kann. Als Resultat der Lehrerfortbildung sollte *drittens* ein nachhaltiges Netzwerk zwischen Lehrkräften unterschiedlicher Schulen entstehen. Da für die Auswahl spezieller Inhalte und den Unterrichtsprozess die Interessenfelder der Schüler zu berücksichtigen sind, ist *viertens* die Erstellung interessen- und motivationsfördernder Unterrichtsmaterialien empfehlenswert. Zuletzt werden *fünftens* die Thematisierung von konkreten Unterrichts- und Lernschwierigkeiten sowie die Vorbereitung praktischer Arbeiten im Unterricht und die Beschaffung notwendiger Ausrüstung und Materialien genannt.

3.2.3 Befunde zu Merkmalen guter naturwissenschaftlicher Fortbildungen in Deutschland

Im deutschsprachigen Raum werden vor allem durch die Anbindung von insgesamt sieben Chemielehrerfortbildungszentren an die Förderinitiativen der Gesellschaft Deutscher

Chemiker (GDCh) seit Ende der 90er Jahre verstärkt konzeptionelle Arbeiten und Wirksamkeitsuntersuchungen von Fortbildungen betrieben (GDCh, o. J.). Neu und Melle (1998) sowie Pietzner et al. (2004) und S. Schmidt und Neu (2004) kommen bezüglich chemischer bzw. naturwissenschaftlicher Lehrerfortbildungen zu dem Ergebnis, dass die Fortbildungsakzeptanz und Teilnehmerzufriedenheit durch Fortbildungen gewährleistet wird, die sowohl aus Vortrag als auch Experimentierpraktikum bestehen. Besonders wichtig sind demnach den Lehrkräften neue Experimente, der Fokus auf Unterrichtskonzepte und fachliche Hintergründe, methodische Themen sowie ein Erfahrungsaustausch mit Kollegen. Allgemein didaktischen und historischen Themen wird eine eher geringe Bedeutung zugemessen. Außerdem ist ein zu weiter Anfahrtsweg ein häufiger Grund für eine Nichtteilnahme an einer Fortbildung. Diese Ergebnisse müssen jedoch im inhaltlichen Kontext der Veranstaltungen bewertet werden. Die hier betrachteten Themen *Möglichkeiten der Erschließung des Themas PVC im Chemieunterricht, Chromatographie und ihre Anwendungen am Beispiel Kaffee* und *Energetik und Elektrotechnik* zeichnen sich also durch einen Kontext- und Alltagsbezug sowie durch curriculare Innovation aus. Das aus den Untersuchungen zu *Erwartungen von Chemielehrern an Fortbildungen* entwickelte Fortbildungskonzept, das ein mehrmaliges, blockweises Anbieten eines Themas in einer eintägigen Veranstaltung zur flexiblen Termingestaltung für die Lehrkräfte vorsah, kann als Grundstruktur auch für die aktuelle Situation in Bezug auf fächerübergreifende Naturwissenschaften Anwendung finden, da hier bereits durch die Lehrpläne eine Kontext- und Alltagsnähe vorhanden ist.

In einem regionalen Fortbildungskonzept von Pennig (2005), bei dem Fortbildungen, die gemeinsam mit Fachberatern geplant wurden, lokal an Schulen durchgeführt wurden, zeigte sich ebenfalls die Bedeutung der Bereitstellung von Experimenten. Wie bei Neu und Melle (1998) lag der Fokus auf alltagsorientierten Einheiten, jedoch wurden die Fortbildungen bei Pennig (2005) als Halbtagesveranstaltungen nach Schulende konzipiert. Dahinter steht die Prämisse, dass Unterrichtsausfall vermieden wird und so die Teilnahmeaktivität gefördert wird. Zudem wurde die Regionalität nicht nur wegen des kurzen Anfahrtsweges für die Lehrkräfte als positiv eingeschätzt, sondern auch aufgrund der Sichtbarmachung der Schulsituation für die Vertreter der Universität.

Auch in Bezug auf Fortbildungen für biologische Lehrkräfte können Wenning und Sandmann (2016) sowie Zajicek, Hülsken, Wenning und Sandmann (2015) das bisher dargestellte Meinungsbild von Merkmalen guter Lehrerfortbildungen bestätigen. Sie nennen aufgrund einer Online-Befragung zu Einstellungen und Erwartungen von Biologielehrkräften zu biologischen Fortbildungen didaktisch-methodische Anregungen, Erweiterung des Fachwissens, Austausch mit Kollegen, Wechsel zwischen Theorie- und Praxisphasen, Unterrichtsrelevanz sowie eine transparente Zielformulierung als Merkmale guter Fortbildungen. Zudem wird auch hier dem Referenten eine hohe Bedeutung zugemessen, der

Praxisbezüge herstellen soll und Unterstützungen im Unterricht liefert. In dieser Studie wurden jedoch auch herausgestellt, dass die Materialien, die die Lehrkräfte für oder im Anschluss an die Fortbildung erhalten, sehr wichtig sind und für die Umsetzung der Inhalte in den Schulalltag unterstützend wirken sollten. Physikalische Fortbildungen müssen laut der DPG (2016b, S. 41–45) vor allem neue physikalische Fachinhalte in fachdidaktisch aufbereiteter Form den Lehrkräften zugänglich machen. In dieser Schulstudie verweist die DPG darauf, dass sowohl eine geringe Wertschätzung von Fortbildungsaktivitäten durch Schulleitung oder Schulbehörde sowie ein als begrenzt bewertetes Fortbildungsangebot der Breitenwirkung von Fortbildungen entgegenwirken. Diesbezüglich fordert die DPG, dass für ein breiteres Angebot Lehrerfortbildungen integraler Bestandteil von Universitäten sein sollten und sich die Freistellungspraxis der Lehrkräfte verändern muss, sodass eintägige Fortbildungen gegenüber Halbtagesveranstaltungen am Nachmittag oder Abend die Regel werden.

Ansorge-Grein (2010, S. 37–64) (siehe auch (Ansorge-Grein et al., 2009)) untersuchte u. a. mittels Experteninterviews und einer Sekundäranalyse einer Erhebung von S. Schmidt und Neu (2004) Qualitätsmerkmale für naturwissenschaftliche, universitäre Lehrerfortbildungen. Hier wurden 283 Kategorien identifiziert und nach 14 Überkategorien sortiert¹:

- **Materialien:** Das Begleitmaterial deckt Theorie und Experimente ab, ist übersichtlich und gut strukturiert, enthält für Schüler angemessene Lernmaterialien sowie Tipps und Tricks bei Versuchsvorschriften und beinhaltet zusätzliche Informationen für die Lehrkraft.
- **Referent:** Die Planung der Fortbildung erfolgt schul-, schüler- und lehrerorientiert. Der Referent ist didaktisch und rhetorisch gut ausgebildet, motiviert, gut vorbereitet, inhaltliche kompetent, geht auf die Lehrkräfte ein und agiert zielorientiert.
- **Zielgruppenorientierung (Schulbezug):** Die Fortbildung soll zu einer Zeiterparnis im Berufsalltag führen, im Schulunterricht umsetzbare Beispiele und Inhalte darlegen, bedarfsorientiert, fachbezogen, motivierend und interessant sein und sich eher an eine homogene Lerngruppe (Lehrkräfte) richten.
- **Kundenkommunikation:** Fortbildungsart, Lernziele und -inhalte sollten vorher bekannt gegeben werden. Die Ankündigung der Fortbildung sollte leicht einsehbar sein und den realen Fortbildungsinhalt darstellen. Die Anmeldung sollte online möglich sein.

¹Die hier dargestellten Erläuterungen umfassen nicht das gesamte Kategorienspektrum, sondern nur die Aspekte, die für eine Fortbildungsreihe im Rahmen fächerübergreifender Naturwissenschaften in Thüringen relevant sind. Für die genaue Ausdifferenzierung der Überkategorien siehe Ansorge-Grein (2010, S. 45–54).

- **gute Atmosphäre:** Die Arbeitsatmosphäre sollte angenehm sein, Teilnehmer zuvorkommend begrüßt werden und die Teilnehmer sich wohlfühlen.
- **gute Vorbereitung/ Planung:** Experimente sollten erprobt sein und gut funktionieren, die Experimentierphase gut strukturiert und kompetent bereut sein, Lernziele und Arbeitsformen festgelegt und Inhalte definiert sein, funktionierende Technik sollte vorhanden sein und die Fortbildung fachlich, fachdidaktisch und bildungswissenschaftlich auf dem neusten Stand sein.
- **Teilnehmerzufriedenheit:** Die Lehrkräfte kommen wieder, haben das Gefühl, etwas Neues gelernt zu haben und geben eine positive Rückmeldung.
- **Modulcharakter:** Es sollte ein Zertifikat bereitgestellt und Kriterien für die Erreichung dieses Zertifikats festgelegt werden.
- **Fortbildungsgestaltung:** Das Verhältnis zwischen Teilnehmern und Referent ist gleichberechtigt, Theorie- und Praxisphasen sind verzahnt und eigene Arbeitsphasen für die Lehrkräfte sind möglich. Die Dauer der Fortbildung (Zeit und Verteilung der Veranstaltungen) muss den Inhalten angemessen sein. Fachwissenschaftliche Aspekte sollten mit pädagogischen und fachdidaktischen Anteilen kombiniert werden und eher in die Tiefe gehen. Eine Abschlussevaluation sollte durchgeführt werden und die Fortbildung ohne größeren Kostenaufwand durchführbar sein.
- **Zielgruppenorientierung (Multiplikatoren):** Die Inhalte der Fortbildung sollten an weitere Lehrkräfte herangetragen werden.
- **veranstaltungsübergreifende Aspekte:** Die Fortbildung sollte sich aufgrund von Untersuchungsergebnissen, Neuerungen wie Bildungsstandards oder ministeriellen Vorgaben weiterentwickeln.
- **Rückwirkung auf Hochschule:** Die Fortbildung sollte ebenfalls für Studierende gewinnbringend sein.
- **Infrastruktur:** Die Fortbildung sollte gute Laborräume haben und insgesamt gut erreichbar sein.
- **Beitrag der Teilnehmer:** Der Teilnehmer ist dem Angebot gegenüber aufgeschlossen, weiß, was er will und braucht und kommt freiwillig.

Es muss jedoch angemerkt werden, dass nicht zuletzt aufgrund fehlender weitreichender Untersuchungen, inwieweit die in der deutschsprachigen Literatur abgeleiteten Merkmale professioneller Lehrerfortbildungen sich als wirksam im Sinne der Wirksamkeitsstufen für Lehrerfortbildungen erweisen, die Forschung zu naturwissenschaftlichen Lehrerfortbildungen in Deutschland bislang unzureichend ist. Die naturwissenschaftliche Fortbildungslandschaft in der Bundesrepublik bedarf erheblicher Überarbeitungen, was durch die vom Nationalen MINT Forum formulierten Thesen zur Lehrerfortbildung unterstrichen wird

(Nationales MINT Forum, 2015). So müssen Fortbildungen u. a. zukünftig durch eine kontinuierliche professionelle Entwicklung ersetzt werden. Kernelemente müssen dabei Lern- und Arbeitsgemeinschaften von Lehrkräften sein und außerdem sollen die Lehrerbildungsphasen durch Fortbildungen zu verzahnen. Zudem müssen auch die Fortbildner aus- und weitergebildet und die Fortbildungen gründlich evaluiert werden.

Prinzipiell ergibt sich bei der hier international dargestellten Vielfalt an Merkmalen guter Lehrerfortbildung stets das Problem, dass diese häufig anhand spezieller Fortbildungen zu speziellen Themen aufgestellt bzw. abgeleitet wurden oder die Merkmale selbst so allgemein sind, dass eine einfache Transformation auf individuelle Fortbildungsprojekte schwer möglich ist (siehe Kapitel 3.1.1). Leider finden sich in den seltensten Fällen in den diversen Studien Angaben oder Beispiele dazu, wie die Fortbildung konkret inhaltlich und methodisch gestaltet war. Gerade dies wäre aber notwendig, um die Konstruktionskriterien im Kontext inhaltlicher Schwerpunktsetzungen zu bewerten (Desimone & Garet, 2015). Aus diesem Grund müssen für die Planung einer Fortbildung sowohl die Bedürfnisse der betreffenden Lehrpersonen einbezogen sowie die konkrete Unterrichtssituation, auf die sich die Fortbildung beziehen soll, im Vorfeld reflektiert werden. Im folgenden Kapitel werden daher aktuelle Problemfelder des fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts in Deutschland dargestellt.

3.3 Spezifische Herausforderungen für das Unterrichten fächerübergreifender Naturwissenschaften in Deutschland

Bereits in Kapitel 2.1.3 wurde auf die Herausforderung hingewiesen, dass mit fächerübergreifendem Unterricht in Deutschland häufig fachfremdes Unterrichten einhergeht. Bemerkenswert ist der Umstand, dass das Fehlen von geeigneten Unterrichtsmaterialien heutzutage immer wieder beklagt wird (Küster, 2014), wie es auch Kremer und Stäudel (1997) anmerken. In Thüringen wie auch in vielen anderen Bundesländern, in denen sich mittlerweile der fächerübergreifende Unterricht in den Jahrgangsstufen fünf und sechs durchgesetzt hat, gibt es für diesen Bereich zwar entsprechende Lehrbücher. Jedoch bleibt die Frage offen, wie Lehrkräfte deren Qualität für den eigenen Unterricht einschätzen und inwieweit diese Lehrbücher für die Lehrkraft auch über den Schulinhalt hinaus Informationen bereitstellen. Für den Unterricht im Wahlpflichtfach *Naturwissenschaften und Technik* in Thüringen der Jahrgangsstufe neun und zehn existiert bis heute, seit der Einführung des Faches 2013 noch immer kein Lehrbuch oder eine vergleichbare Materialsammlung.

Auch Döriges (2001) nennt mangelndes Unterrichtsmaterial und einen hohen Zeit- und Arbeitsaufwand für den integrierten Unterricht als wichtige Hürden. Die stärkste Herausforderung liegt aber auch laut Döriges (2001) auf dem fachfremden Unterrichten. Dieses

Argument ist bei Fruböse et al. (2011) Ausgangspunkt der Diskussion eines Erfahrungsberichtes von sieben Lehrkräften mit dem fächerübergreifenden Unterricht in den Jahrgangsstufen fünf und sechs. Sie unterteilen fachliche, praktische und fachdidaktische Defizite nach fachfremdem Unterrichten in Biologie, Chemie oder Physik. So mangle es fachfremd unterrichtenden Lehrkräften in Bezug auf Biologie vor allem an Grundlagenwissen (z. B. zu Botanik mit Pflanzen- und Tiersystematiken, zur Anatomie, Lebensweise bestimmter Säugetiere, zu wichtigen Krankheiten und zur Anatomie des menschlichen Körpers). Mit Blick auf die Chemie liegen fachliche Defizite beim Teilchenmodell, Ablauf chemischer Reaktionen und prinzipiell bei Sicherheitsbestimmungen sowie einem Überblick über Geräte und Chemikalien und deren Benennung vor. Für die physikalischen Inhalte wird von grundlegenden Aspekten der Mechanik (Hebel, Kraftmessung, Auftrieb etc.) gesprochen. Dass vor allem für die Biologie die umfangreichsten fachlichen Aspekte genannt werden, liegt weniger an der Komplexität biologischer Inhalte, sondern mehr an der fachlichen Ausdifferenzierung des Lehrplans. So liegt der fachliche Schwerpunkt im rheinland-pfälzischen Lehrplan (MBWJK, 2010), auf den sich in dieser Studie bezogen wird, aber auch in Lehrplänen anderer Bundesländer (TMBJS, 2015a; LISUM, 2015) eher auf der Biologie. Dies zeigt sich auch daran, dass sich Biologielehrkräfte für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht fachlich gut vorbereitet fühlen (Grasser, 2010).

Praktische Defizite liegen vor allem beim Umgang mit dem Mikroskop und Bestimmungsübungen (Biologie), dem Aufbau und der Durchführung einfacher Experimente und der Organisation von Schülerübungen (Chemie) sowie der Bedienung von Messgeräten, dem Aufbau einfacher Stromkreise oder Getriebe und Erfahrungen bei der Benutzung solcher physikalischer Messgeräte (Physik). Fachdidaktisch liegen auf die Biologie bezogen Probleme beim Einsatz von Arbeitsblättern, des Schulbuches und geeigneter Methodenwerkzeuge sowie der Gestaltung des Sexualkundeunterrichts. Chemisch erweist sich die Einbindung von Experimenten in den Unterrichtsprozess sowie die Beachtung relevanter Sicherheitsbestimmungen schwierig. Ebenso führt das Experiment im Physikunterricht zur Erkenntnisgewinnung, dem Wesen entsprechender Messungen sowie prinzipiell die Kenntnis von typischen physikalischen Experimenten und deren Einbindung in den Unterricht zu Problemen. Für die Chemie und Physik kann zudem gleichermaßen die Konzeption von Schülerübungen genannt werden. Für alle Fachbereiche gleichbedeutend ist bezüglich des Erfahrungswissens eine unzureichende Kenntnis der jeweiligen Fachsammlungen zu nennen.

Aufgrund dieser Defizite stellen Fruböse et al. (2011) fest, dass es fachfremd Biologie Unterrichtenden aufgrund fehlender Breite und Tiefe im fachlichen Wissen schwerfällt, auf Schülerfragen angemessen zu reagieren, wodurch sich eine typische, Schülerfragen vermeidende Unterrichtsgestaltung ergäbe. Anstelle einer didaktisch begründeten Schwer-

punktsetzung wird verstärkt der Gebrauch von Methoden gemacht, bei der die Schüler selbstständig arbeiten und die Lehrkraft eher als Moderator denn als Experte fungiert. Als Kernproblem wird hier weiterhin auf ein fehlendes Interesse an den nur oberflächlich erarbeiteten Inhalten vonseiten der Lehrkraft gesprochen, was sich wiederum auf die Begeisterung am Inhalt der Schüler auswirkt. Im Rahmen fachfremder chemischer Aspekte argumentieren Fruböse et al. (2011), dass vor allem die praktischen Arbeitsphasen gepaart mit einer gewissen Angst der Lehrkraft vor chemischen Experimenten problematisch sind, wohingegen kaum fachliche Hürden bestünden, da die chemischen Inhalte in der Jahrgangsstufe fünf und sechs eher gering sind. Diese Schlussfolgerung erscheint sehr überraschend und muss äußerst kritisch betrachtet werden, da sich der Anfangsunterricht chemisch insbesondere durch die Nutzung des Teilchenmodells auszeichnet. Ohne eine entsprechende fachliche Vertiefung ist die Darstellung und Nutzung dieses Modells aber nicht möglich, zumal hier die grundlegendsten Präkonzepte der Schüler ansetzen sowie zahlreiche Fehlvorstellungen etabliert werden können (vgl. Barke (2006, 35–97)). Besitzt eine Lehrkraft keine physikalische Ausbildung, so ist nach Fruböse et al. (2011) kein grundlegendes Interesse an physikalischen und technischen Inhalten gegeben.

Zusammenfassend fordern Fruböse et al. (2011) für den integrierten Naturwissenschaftsunterricht, dass neben einem eigenen Selbststudium vertiefende Fortbildungen angeboten und besucht werden müssen. Zudem muss gerade für die physikalischen und chemischen Anteile die Einübung praktischer Tätigkeiten trainiert werden. Letztlich könne ein guter fächerübergreifender Unterricht aber nur in Lehrerteams realisiert werden, bei denen die beteiligten Lehrkräfte auch eine gewisse Anstrengungsbereitschaft sowie eine aufgeschlossene Haltung gegenüber fachlich neuen Aspekten bei der Unterrichtsvorbereitung mitbringen. Da jedoch die berufliche Belastung der Lehrkräfte in den Naturwissenschaften aufgrund des Lehrkräftemangels dafür nicht ohne Weiteres abgemildert werden kann, muss auch die Ausbildung neuer Lehramtskandidaten in der 1. und 2. Phase der Lehrerbildung diesbezüglich angepasst werden. Letztendlich bedarf es auch im Schulalltag einer integrierten naturwissenschaftlichen Sammlung neben den bestehenden physikalischen, chemischen und biologischen Sammlungen.

Aufgrund der in dieser Studie dargelegten Herausforderungen zum integrierten Naturwissenschaftsunterricht schlussfolgern die Autoren, dass ein derartiger Unterricht über die Jahrgangsstufen fünf und sechs hinaus zu einem erheblichen Verlust der Unterrichtsqualität führen würde. Inwieweit diese Aussage zutreffend ist, kann aufgrund einer bislang unzureichenden Lage an wissenschaftlichen Untersuchungen nicht abschließend geklärt werden. So erscheint die Schlussfolgerung von Fruböse et al. (2011) nachvollziehbar, gleichwohl gibt es aber auch Trends, bei denen fächerübergreifender Unterricht im Meinungsbild von Oberstufenlehrkräften zur Förderung der Selbstständigkeit und des vernetzten Denkens

dienlich ist (Stübiger, Ludwig, Bosse, Gessner & Lorberg, 2006) und Oberstufenlehrkräfte sich gleichwohl die Erweiterung der eigenen Fachgrenzen wünschen (Häsel, 2009).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die bisherigen Untersuchungen zu Herausforderungen, Defiziten und Problemfeldern beim fächerübergreifenden Unterricht in Deutschland zwar gewisse Einblicke erlauben und damit im Rahmen einer Fortbildungskonstruktion einen Praxisblick zulassen, dieser jedoch in keiner Weise repräsentativ ist. So leiten sich viele Problemfelder aus bloßen Erfahrungsberichten bzw. subjektiven Einschätzungen ab. Auch die sehr konkreten Ergebnisse von Fruböse et al. (2011) können im Angesicht der geringen Teilnehmerzahl in ihrer Studie von sieben Personen, die alle einem Kollegium entspringen, im Rahmen der Situation in Thüringen und einem allein sozioökonomisch anderen Teilnehmerkreis bei einer Fortbildung nur als grobe Tendenzen gelten. In diesem Kontext kritisiert Küster (2014) die mangelnde Kenntnis über die Auswirkungen fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts auf die Kompetenzentwicklung der Schüler. Erste Ansätze dazu wurden von Busch (2016, S. 64–69) erbracht, der die Kompetenzentwicklung von Jahrgangsstufe acht bis zehn zwischen Schülern mit dem naturwissenschaftlichen Wahlpflichtfach NWuT und ohne dieses Fach verglichen hat. Auch wenn sich die naturwissenschaftliche Kompetenz dieser zwei Gruppen in Klassenstufe acht noch signifikant unterschied, konnte in Klassenstufe zehn dieser Unterschied nicht mehr festgestellt werden. Busch schlussfolgert daraus, dass für die Frage, ob fächerübergreifender Unterricht die naturwissenschaftliche Kompetenz fördert, beide Gruppen zu Beginn, also in Klassenstufe acht, ein gleiches Kompetenzniveau haben müssen. Zudem müsste die Gruppe, die keinen zusätzlichen Wahlpflichtunterricht in Naturwissenschaften belegt, zusätzlichen Fachunterricht erhalten, damit die Stundenanzahl bezogen auf Naturwissenschaften beider Gruppen identisch ist.

Weiterhin bemerkt Küster (2014) eine unzureichende Passung zwischen den Lehrplänen der integrierten Fächer und den neueren Trends der Bildungsforschung sowie einer noch nicht weitgehend ausdifferenzierten wissenschaftlichen Konzeption über die Vernetzung der einzelnen Naturwissenschaften bezüglich Wissen, Methoden, Modellen und Theorien. In Kapitel 2.3 konnte gezeigt werden, dass die Ausbildung der Basiskonzepte ein sinnstiftendes Werkzeug sein kann, aus der jeweiligen Fachdisziplin heraus inhaltliche Kontexte fächerübergreifend zu betrachten. Diese Auffassung von fächerübergreifendem Unterricht, als ein Unterricht, bei dem die Fachgrenzen der Einzeldisziplinen erhalten bleiben und sich gegenseitig ergänzen, wird in Thüringen aktuell durch den Thüringer Bildungsplan (TMBJS, 2015b, S. 128–157) wissenschaftlich vertreten. In den entsprechenden Thüringer Lehrplänen für MNT und NWuT (TMBJS, 2015a, 2013) wird dieses Kriterium jedoch nicht aufgegriffen. Letztlich kann daher eine Konstruktion einer Fortbildung zur begleitenden Unterstützung der Lehrkräfte im integrierten Unterricht nur gelingen, wenn diese

inhaltlich wie strukturell unter Einbezug von Thüringer Lehrkräften gestaltet wird.

3.4 Zwischenbilanz

Zum Zweck einer Fortbildung für fächerübergreifende Naturwissenschaften bilden die *core features* von Desimone (2009) einen groben konzeptionellen Rahmen. Neben strukturellen Planungselementen wie dem zeitlichen Umfang sind für die inhaltliche Gestaltung vor allem die Faktoren *content focus* und *active learning* entscheidend. So ergibt sich die Forderung, dass die Fortbildung sich an inhaltlichen Beispielen für integrierten Unterricht orientiert. Gleichwohl ergibt sich für die naturwissenschaftlichen Disziplinen die Möglichkeit, aktive Lerngelegenheiten durch Erprobung und Evaluation von Schulexperimenten zu initiieren, denen ein einführender Vortrag vorangestellt ist, der die fachlichen und fachdidaktischen Grundlagen thematisiert.

Prinzipiell muss aber dem Umstand Rechnung getragen werden, dass die Lehrkräfte mit Inhaltsfeldern konfrontiert werden, die jenseits ihrer studierten Unterrichtsfächer liegen. Deswegen muss der Fokus der Fortbildung zunächst auf das Lehrerlernen gelegt werden. Obgleich in den Modellen von Desimone (2009) und Lipowsky (2010) vor allem das Schülerlernen bei fachspezifischen Themen in einer Lehrerfortbildung zu betrachten ist, können Fragen z. B. über mögliche Schülervorstellungen, Unterrichtsmethoden, Lernprozesse bei Schülern, Interessensteigerung oder soziale Lernformen erst nach einer ausreichenden fachlichen Vertiefung der Lehrkräfte diskutiert werden. Dies zeigt sich beispielsweise in der Bedeutung des Fachwissens für die fachdidaktische Adaption des Fortbildungsinhaltes bei Curriculumreformen (Kapitel 3.2.2). Auch die GK-12 Programme (Kapitel 3.2.1) konnten zeigen, dass bei forschungsbasierten Themen im Rahmen einer Fortbildung nur dann Wirkungen auf eine veränderte Unterrichtspraxis erreicht werden können, wenn ein tiefgründiger Fachbezug geboten wird (Jeanpierre et al., 2005).

Aufgrund dessen steht eine Fortbildung für integrierte Naturwissenschaften vor der Problemstellung, in einer Fortbildung neue fachliche Aspekte zu erklären und gleichzeitig Umsetzungsstrategien für den Schulunterricht bereitzustellen. Diesbezüglich eignen sich neben Gründen des aktiven Lernens auch Experimente, die den Lehrkräften eigene fachliche Vertiefungsmöglichkeiten bieten und gleichzeitig in schülergerechter Form aufbereitet sind.

Eine besondere Bedeutung kommt den Begleitmaterialien zur Fortbildung zu. Prinzipiell müssen diese die Theorie- und Praxisanteile für einen nachhaltigen Schuleinsatz strukturieren. Im Spannungsfeld zwischen fachlichem und schulpraktischem Bezug können hier spezielle Hilfestellungen zu naturwissenschaftlichen Grundbegriffen sowie geeignete

Erklärungsmodelle für Schüler integriert werden. Insbesondere bei Fortbildungen mit experimentellem Fokus müssen die bereitgestellten Experimentieranleitungen durch eine umfangreiche fachdidaktische Reflexion begleitet sein. Dazu zählen praktisch-experimentelle Beurteilungen der Versuche über z. B. Schwierigkeiten bei der Durchführung, Sichtbarkeit des dargestellten Effektes, Gefährdungshinweise sowie eine didaktische Bewertung über z. B. den Einsatz eines Versuches, speziell wirksame Basiskonzepte oder Anknüpfungspunkte an die Lebenswelt der Schüler. Diese zusätzlichen Hilfestellungen sind insbesondere dann notwendig, wenn eine Lehrkraft im Rahmen integrierten Unterrichts mit für sie selbst psychomotorisch unbekannten Experimentieraufbauten arbeitet.

Kapitel 4

Studiendesign und Forschungsfragen

4.1 ProfJL - Professionalisierung von Anfang an im Jenaer Modell der Lehrerbildung

¹ Das Desiderat, dessen Bearbeitung sich die vorliegende Arbeit widmet, leitet sich direkt aus der in Kapitel 2.1.3 als ausbaufähig bewerteten Fortbildungslage für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht ab. Die Etablierung einer adäquaten Fort- bzw. Weiterbildungsstruktur für integrierte Naturwissenschaftsfächer in Thüringen durch die Friedrich-Schiller-Universität Jena erfolgt im Rahmen des durch die Qualitätsoffensive Lehrerbildung geförderten Projektes *Professionalisierung von Anfang an im Jenaer Modell der Lehrerbildung* (ProfJL)². Die Qualitätsoffensive Lehrerbildung (QLB) wurde 2013 von Bund und Ländern als gemeinsames Programm für zehn Jahre beschlossen. Ziel der Offensive ist es, Reformen und Innovationen in der Lehrerbildung zu entwickeln. Die QLB verläuft in zwei Förderphasen (1. Phase: 2015-2018, 2. Phase: 2019-2023).

An der Friedrich-Schiller-Universität Jena bearbeitet in der ersten Förderphase das Projekt ProfJL drei wesentliche Schwerpunkte: Wissen und Können: Grenzüberschreitende Lernumgebungen (Boundary Crossings) (1), Internationalisierung (2) und Umgang mit Heterogenität/ Inklusion (3). Im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung wird damit das Jenaer Modell der Lehrerbildung profiliert und für neue bildungspolitische Entwicklungen geöffnet. Kernziel von ProfJL ist die Stärkung einer reflexiven Lehrerbildungskultur von Anfang an, bei der (künftige) Lehrkräfte eine professionelle Handlungskompetenz

¹Die Informationen dieses Kapitels sind auf die Internetpräsenz des Projektes zurückzuführen (ZLB, o. J.), dem zugehörigen Projektantrag (Winkler, 2015) sowie der eigenen Arbeit im Projekt.

²ProfJL wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

entwickeln und Fort- und Weiterbildungen als stetige, berufsbegleitende Aufgabe begreifen. Die Verknüpfung von deklarativem und prozeduralem Wissen und Können bildet die übergeordnete Leitlinie des Projektes. Diese hat an der Friedrich-Schiller-Universität mit der Einführung eines Praxissemesters 2007 und der damit einhergehenden Integration von Praxisphasen in den Studienverlauf eine lange Tradition. ProfJL bildet somit eine lehrerbildungsphasen- und disziplinübergreifende (Fach, Fachdidaktik, Bildungswissenschaften) Struktur ab. Inhaltlich setzen insgesamt acht Teilprojekte (TP) diese Zielanforderungen durch verschiedene curriculare Entwicklungen und Erprobungen um, wobei diese durch ein gemeinsames Doktoranden- und Forschungskolleg *Bildung. Forschung. Dialog* (Netz 1) sowie durch eine übergreifende Prozesssteuerung und Implementation (Netz 2) begleitet und vernetzt werden (siehe Abbildung 4.1).

Netz 1: Forschungs- und Doktorandenkolleg		
Netz 2: Prozesssteuerung der Implementation		
(1) Grenzüberschreitende Lernumgebungen	(2) Internationalisierung	(3) Heterogenität/ Inklusion
Teilprojekt 1: Naturwissenschaften integrativ	Teilprojekt 5: Praxissemester im Ausland	Teilprojekt 6: Sprache im Fachunterricht
Teilprojekt 2: Kooperationsseminare		Teilprojekt 7: Fit für Inklusion
Teilprojekt 3: Vorbereitungsmodule in den Bildungswissenschaften		Teilprojekt 8: Medien im Mathematikunterricht
Teilprojekt 4: Ausbildung der Ausbilder		

Abbildung 4.1: Struktur des Projektes ProfJL.

Der Schwerpunkt Wissen und Können: Grenzüberschreitende Lernumgebungen (Boundary Crossings) umfasst vier Teilprojekte und versucht, Theorie- und Praxisphasen im Studium zu verzahnen. Hierunter fallen zum einen phasenübergreifende Projekte, bei denen Akteure aller Lehrerbildungsphasen in einen praxis- und theoriebezogenen Diskurs über Unterricht treten (TP 4) sowie Seminareinheiten aus fachlicher und fachdidaktischer Perspektive für verschiedene Fachdomänen entwickelt werden (TP 2). Mit dem Teilprojekt 3 sollen im Sinne einer anschlussfähigen 1. Phase der Lehrerbildung die erziehungswissenschaftlichen Vorbereitungsmodule auf das Staatsexamen professionalisiert werden.

Das Teilprojekt 1 bearbeitet im Rahmen des Boundary Crossings das Feld des fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts. Infolge der Einführung der integrierten Fä-

cher *Mensch-Natur-Technik* (MNT) in den Jahrgangsstufen 5/6 und *Naturwissenschaften und Technik* (NWuT) in den Jahrgangsstufen 9/10 sollen Aus- sowie Weiterbildungsangebote für die 1. und 3. Phase der Lehrerbildung entwickelt und wissenschaftlich begleitet werden. Aufgrund der in Kapitel 2.1 aufgeführten Diskussionslinien bezüglich fächerübergreifendem Unterricht werden durch diese Maßnahmen Lehrkräfte und Lehramtsstudierende darauf vorbereitet, integrierte Fächer fachlich qualifiziert und fachdidaktisch kompetent zu unterrichten. Dabei werden Basiskonzepte, Methoden und Bildungsstandards der drei Naturwissenschaften miteinander verknüpft. Das Projekt baut diesbezüglich auf wichtigen Vorarbeiten auf. So konnten durch die Chemiedidaktik Jena seit 2008 erste curriculare Bausteine für die Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften entwickelt und erprobt werden (Grasser & Woest, 2008; Woest, Grasser & Teuscher, 2008; Grasser & Woest, 2010; Busch & Woest, 2014), eine Kooperationsstruktur mit den Fachdidaktiken der Biologie und Physik vereinbart sowie ein Schulnetzwerk für die Unterstützung fachdidaktischer Entwicklungsarbeiten aufgebaut werden.

Der Schwerpunkt Internationalisierung bearbeitet das Problemfeld der Internationalisierung in der Lehrerbildung. Als ein strukturbildendes Projekt werden durch das Teilprojekt 5 Koordinierungs-, Konzeptualisierungs- und Implementationsmaßnahmen vorangetrieben, die Lehramtsstudierenden ein Praxissemester im Ausland erleichtern, womit den Studierenden interkulturelle Erfahrungen eröffnet werden, die sie als Multiplikatoren in die Schulwirklichkeit tragen.

Der Schwerpunkt Umgang mit Heterogenität/ Inklusion setzt sich aus drei Teilvorhaben zusammen. Mit der Forderung des *Gemeinsamen Lernens* sollen Bausteine für inklusiven Unterricht aus sprachwissenschaftlicher (TP 6), psychologischer (TP 7) und mathematikdidaktischer Perspektive (TP 8) erarbeitet und erprobt werden. Damit reagiert dieser Bereich auf den aktuellen Paradigmenwechsel in der Lehrerbildung, in dessen Folge Gemeinsamer Unterricht auf ein wissenschaftlich erforschtes Fundament gestellt und unter Einbezug von bildungswissenschaftlichen und fachdidaktischen Perspektiven neu gedacht werden muss.

Für eine detaillierte Ausführung der zentralen Leitziele des Projektes und der Ziele, Maßnahmen und Implementationsstrategien der einzelnen Teilprojekte sei auf den Projektband *Lehrerbildung in einer Welt der Vielfalt. Befunde und Perspektiven eines Entwicklungsprojektes* (Gröschner, May & Winkler, 2018) verwiesen.

4.2 Forschungsfragen und Entwicklungsaufgaben

Ausgehend von der dargestellten Fortbildungssituation in Deutschland und insbesondere in Thüringen (siehe Kapitel 2.2) für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht, den diskutierten Trends bezüglich Entwicklungen, Chancen und Hindernissen für Lehrkräfte beim Unterrichten integrierter Fächer (siehe Kapitel 2.1.3 und 3.3) sowie den im vorherigen Kapitel beschriebenen Projektaufgaben, ist das Kernziel der vorliegenden Arbeit **die Konstruktion einer Fortbildung für fächerübergreifende Naturwissenschaften**. Da die Projektbeschreibung als Zielvorgabe lediglich vorgibt, dass sich die Fortbildung auf die Fächer MNT und NWuT, d. h. auf die Jahrgangsstufen 5/6 sowie 9/10, beziehen und den Lehrkräften fachliche und fachdidaktische Professionalisierungsmaßnahmen liefern soll, lautet die erste Forschungsfrage

F-1: Unter welchen Zielangaben soll die Fortbildung konstruiert werden?

Diese Forschungsfrage ist unter Einbezug der Lehrerperspektive zu gestalten, da bereits in Kapitel 3.1.2 abgeleitet werden konnte, dass die Beteiligung von Lehrkräften an der Gestaltung einer Fortbildung die Teilnehmerzufriedenheit und Attraktivität erhöht. Aus den zahlreichen Charakteristiken guter Lehrerfortbildungen (siehe Kapitel 3) konnte zwar geschlossen werden, dass ein deutlicher Bezug auf das Schülerlernen elementar ist und damit die Zielvorgabe etwa die praktisch-fachdidaktische Umsetzung neuer Unterrichtsthemen sein kann. Allerdings muss bei Fortbildungen zu (teilweise) für die teilnehmenden Lehrkräfte fachfremden Inhalten die Sachkompetenz der Lehrkräfte berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.4). Zu vermuten ist, dass beide Aspekte (das Fachlernen der Lehrkräfte und die unterrichtspraktischen Umsetzungsstrategien der Inhalte) zu berücksichtigen sind. Die Frage nach der Gewichtung beider Grobziele wird zudem von den strukturellen Rahmenbedingungen abhängen. Für ein Fortbildungsformat, das in seiner Struktur eine Art Lehrgang über ein Jahr mit zweiwöchiger Teilnahme an einer Ganztagsveranstaltung ist, können problemlos Fachinhalte tiefgründig dargestellt und passende Unterrichtsstrategien erarbeitet und diskutiert werden. Für zeitlich reduzierte Veranstaltungen müssen dagegen exemplarische Schwerpunkte gesetzt werden.

In einer aktuellen Studie von Kirschner, Hofmann, von Aufschnaiter und Bayer (2018) wurde u. a. die Bereitschaft zur Teilnahme an Fortbildungen von hessischen Physiklehrkräften erhoben. Es stellte sich heraus, dass die meisten Lehrkräfte an drei bis fünf Fortbildungen pro Jahr teilnehmen würden. Die tatsächliche Teilnahme an physikspezifischen Fortbildungen belief sich jedoch für die meisten Lehrkräfte auf null Tage. Als entscheidende Gründe für diese Diskrepanz fanden Kirschner et al. (2018) fehlende Angebote und strukturelle Hindernisse (Konflikte mit Stundenplan, Entfernung zum Fortbildungsort,

Zeitmangel aus privaten Gründen, Kosten der Fortbildung). Unter der Prämisse einer ähnlichen Situation für Naturwissenschaftslehrkräfte in Thüringen erscheint eine Gestaltung der Fortbildung unter Einbezug der Sichtweisen und Wünsche der Lehrkräfte elementar. Daher lautet die zweite Forschungsfrage:

F-2: Welche inhaltlichen und strukturellen Anforderungen stellen Thüringer Lehrkräfte an die Fortbildung?

In Kapitel 3 wurde weiterhin darauf verwiesen, dass die Fortbildung an der Schulwirklichkeit der Lehrkräfte zu orientieren ist und konkrete Materialien für die Umsetzung der Thematik der Fortbildung im Unterricht relevant sind. In diesem Zusammenhang ergeben sich Fragen bezüglich der Schwierigkeiten und Chancen fächerübergreifenden Unterrichts aus Sicht der Lehrkräfte sowie der Gestaltung der Begleitmaterialien:

F-3: Welche Gelingensbedingungen sehen Thüringer Lehrkräfte beim Unterrichten fächerübergreifender Naturwissenschaften?

F-4: Welche Anforderungen stellen Thüringer Lehrkräfte an die Begleitmaterialien?

Bezüglich der Materialien konnte in Kapitel 3.4 bereits dargestellt werden, dass diese sowohl als Unterstützungsmedium für das Fachlernen der Lehrkräfte dienen als auch konkrete Materialien für Schüler bereitstellen und damit Umsetzungsmöglichkeiten im Unterricht aufzeigen sollen. Zu klären ist hierbei insbesondere, in welcher fachlichen Tiefe z. B. Sachanalysen für die Lehrkräfte dargestellt sein müssen. Auch ergibt sich die Frage, ob Schülerarbeitsblätter als fertige Kopiervorlagen für die Bearbeitung von Experimenten und Lernstationen gewünscht sind. Zwar sollte Unterricht immer an den individuellen Lernvoraussetzungen der Schüler orientiert und damit Arbeitsmaterialien klassenspezifisch gestaltet sein. Jedoch stellt die Aufbereitung neuer Themen einen erheblichen Arbeits- und Zeitaufwand für die Lehrkräfte dar. Die genaue Rolle der Fortbildung als Unterstützungssystem in diesem Problemfeld ist daher zu klären.

Die Bedeutung der Begleitmaterialien sowie die inhaltliche Ausgestaltung der Fortbildung unter anzunehmenden Rahmenbedingungen, in relativ wenigen Fortbildungseinheiten fachliche wie auch fachdidaktische Aspekte des Lernens fächerübergreifender Naturwissenschaften abzudecken, führt zum Schwerpunkt dieser Arbeit: **die inhaltliche Konstruktion der Fortbildung**. Dazu zählen insbesondere die Aufbereitung von fächerübergreifenden Themen für eine Fortbildung sowie die Erstellung passender Begleitmaterialien, die den Lehrkräften die Transformation der Inhalte in den Unterricht erleichtern sollen. Unter Aufbereitung ist hier insbesondere die fachliche Analyse adäquater Themen zu ver-

stehen sowie die didaktische Strukturierung dieser. Die Bedeutung der fachlichen Analyse wird im folgenden Kapitel beim Studiendesign erläutert.

Für den fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht konnte in Kapitel 2.3 gezeigt werden, dass die didaktische Strukturierung von fächerübergreifenden Inhalten anhand bestimmter Leitlinien sinnvoll realisiert werden kann. Die Konstruktion der Fortbildung wird sich demnach durch

E-1: Kontextorientierung,

E-2: Basiskonzepte der Naturwissenschaften,

E-3: naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen und in diesem Rahmen auch durch

E-4: einen starken experimentellen Fokus

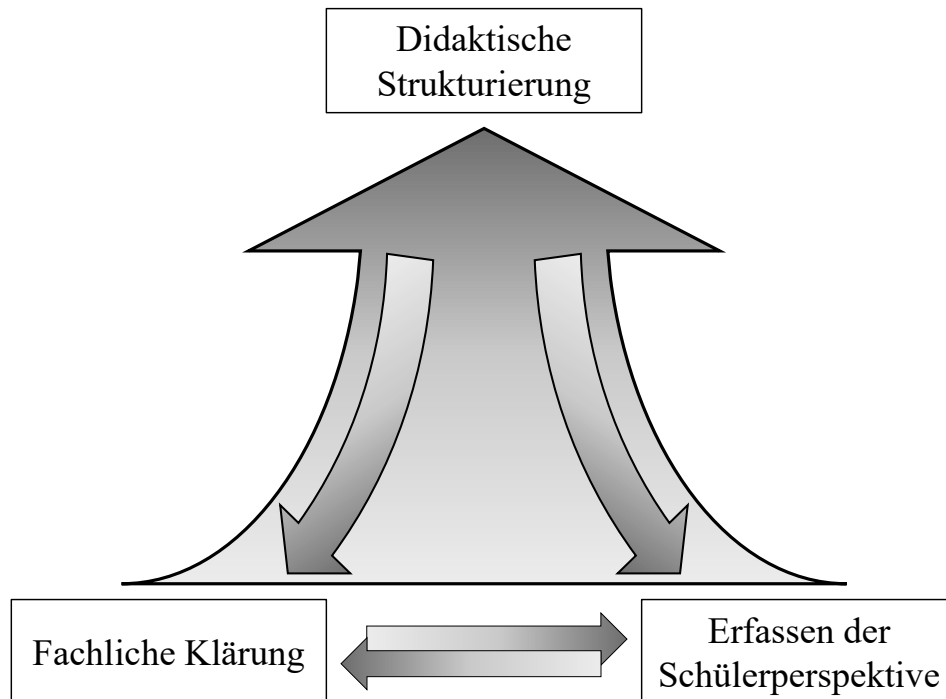
kennzeichnen. Die Bedeutung des experimentellen Fokus' wurde in Kapitel 3.4 als geeignetes Mittel beschrieben, um das Lehrerlernen und die Transformation des Gelernten in den Schulalltag zu verbinden. Da es zudem im Rahmen einer Fortbildung nicht möglich sein wird, sämtliche lehrplanrelevante Themen zu bearbeiten, wird ein exemplarischer Ansatz verfolgt. In Anlehnung an das exemplarische Lehren bei Wagenschein (Wagenschein, 1992, S. 27–59) (Wagenschein, 1976, S. 226–232) sollen anhand ausgewählter Beispielt Themen die Aspekte Kontextorientierung, Anbindung an Basiskonzepte, Einbezug naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen und experimentelles Arbeiten verdeutlicht werden.

Die eben genannten Konstruktionskriterien führen dazu, dass die Fortbildung einen eher inhaltsbezogenen Fokus hat. Diese Kriterien sind jedoch zum einen durch die im Kapitel 5 beschriebene Untersuchung der Lehrerperspektiven zu prüfen und ggf. durch weitere Aspekte zu ergänzen. In Kapitel 6 wird diese inhaltliche Gestaltung der Fortbildung ausführlich dargestellt.

4.3 Studiendesign - das Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Das Studiendesign der vorliegenden Arbeit orientiert sich an dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion, dass von Kattmann et al. (1997) als Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung vorgeschlagen wurde (siehe Abbildung 4.2). Mittlerweile hat sich dieses Forschungsmodell in der fachdidaktischen Landschaft etabliert und wird

immer wieder als ein Kernaspekt der Forschung in naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken genannt (Sumfleth & Fischer, 2005; Reinfried, Mathis & Kattmann, 2009; Parchmann, 2013). Das Modell wurde für diese Arbeit vor allem deswegen gewählt, weil es eine stetige Wechselbeziehung zwischen Input und Output bzw. zwischen konzeptioneller und empirischer Forschung fokussiert, die für fachdidaktische Entwicklungsarbeiten bei gleichzeitig noch z. T. ungesicherter Forschungslage (siehe Kapitel 3) geeignet ist.



Quelle: verändert nach (Kattmann et al., 1997)

Abbildung 4.2: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion mit seinen Teilaspekten *Fachliche Klärung*, *Erfassung von Schülerperspektiven* und *Didaktische Strukturierung*.

Unter der Fachlichen Klärung verstehen Kattmann et al. (1997) die fachdidaktische Analyse fachlicher Inhalte mit einer gezielten Vermittlungsabsicht. Die Schülervorstellungen summieren sämtliche Konzepte, Erklärungsmuster, Denkstrukturen oder sonstige Vorstellungen über Begriffe oder auch gesellschaftliche Zusammenhänge. Unterstrichen wird hier explizit, dass es nicht allein um das fachliche Wissen der Schüler über einen bestimmten Inhalt geht. Durch die didaktische Strukturierung werden dann sowohl die fachlichen Aspekte als auch die Schülervorstellungen in Beziehung gesetzt und miteinander verglichen, wodurch letztlich ein Unterrichtsgegenstand konstruiert wird, der sich durch eine höhere Komplexität und eine andere Strukturierung als der ursprüngliche Fachinhalt auszeichnet. Betont wird dabei, dass die Konstruktion eines Lerngegenstandes nach diesem Modell iterativ abläuft, demnach also die drei Teilaspekte stets aufeinander bezogen und

rückwirkend abgeglichen werden und somit beispielsweise die Fachliche Klärung nicht als eine Art erster Schritt vollständig bearbeitet wird.

Die Didaktische Rekonstruktion von Lehrerfortbildungen für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht enthält aufgrund einer anderen Zielgruppe (Lehrer statt Schüler) und einer anderen Lernform (Fortbildung statt Unterricht) vom ursprünglichen Modell abweichende Teilaspekte. In Abbildung 4.3 ist das Studiendesign dieser Arbeit dargestellt. Anstelle der Erfassung der Schülerperspektiven wurde die Bezeichnung *Vorstellungen der Lehrkräfte* gewählt. Hierunter sind in Bezug auf Lehrerfortbildungen strukturelle wie inhaltliche Vorstellungen und Wünsche zu verstehen, aber auch subjektive Wertvorstellungen über den Lerngegenstand. In diesen Teilaspekt fließen beispielsweise Faktoren ein, wie die Weiterbildung zu gestalten ist, um die Teilnehmerzufriedenheit zu erhöhen (vgl. Kapitel 3). Zudem werden Chancen und Hindernisse von fächerübergreifendem Naturwissenschaftsunterricht erfasst.

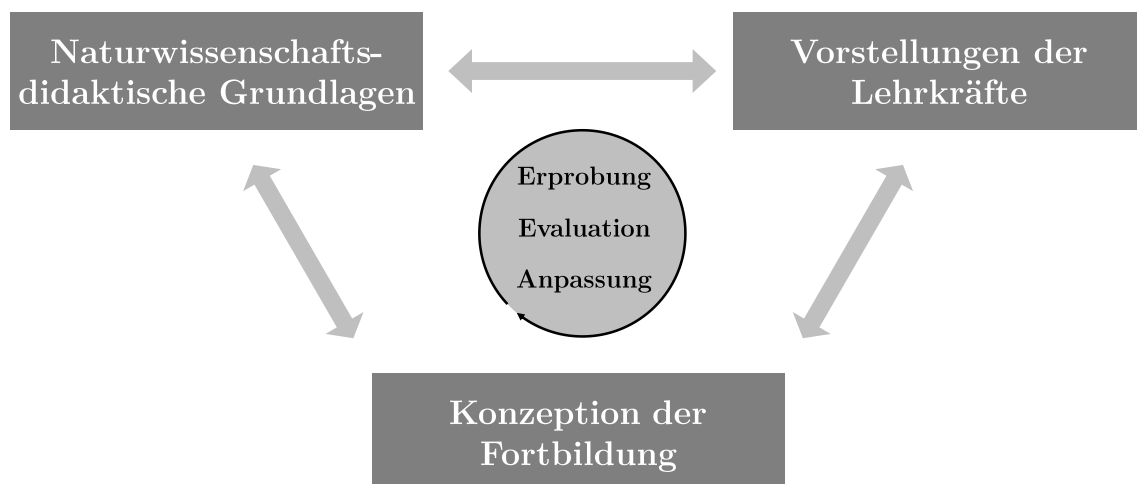


Abbildung 4.3: Studiendesign. Adaptiertes Modell einer Didaktischen Rekonstruktion.

Die Fachliche Klärung, die hier *Naturwissenschafts-didaktische Grundlagen* genannt wird, muss für diese Studie auf zwei Ebenen verstanden werden. Zum einen sind hierbei die in Kapitel 3 dargestellten Anforderungen an gute Fortbildungen zu nennen. Damit sind die Vorstellungen der Lehrkräfte über eine gute Fortbildung zu integrierten Naturwissenschaften mit den (teil)empirisch erhobenen Charakteristiken jener Fortbildungen abzugleichen. Zum anderen muss abweichend von der inhaltsanalytischen Untersuchung bei Kattmann et al. (1997) von fachlichen Inhalten auch von einer fachwissenschaftlichen Klärung gesprochen werden. Im Rahmen einer Fortbildung für fächerübergreifende Naturwissenschaften muss davon ausgegangen werden, dass die teilnehmenden Lehrkräfte nur ein bis maximal zwei naturwissenschaftliche Fächer unterrichten. Somit ergeben sich in der Regel für mindestens eine Fachperspektive fachfremde Aspekte für die jeweilige Lehrkraft.

Eine fachdidaktische Analyse, wie sie eigentlich im Modell der Didaktischen Rekonstruktion angedacht ist (Kattmann et al., 1997), bei der Fachinhalte bereits unter einer gezielten Vermittlungsabsicht betrachtet werden, kann erst dann geleistet werden, wenn zentrale Konzepte, Denkmuster und Arbeitsweisen einer Disziplin durchdrungen wurden.

Zur Erhebung der Lehrerperspektive wird eine qualitative Interviewstudie durchgeführt. Neben den Charakteristiken guter Fortbildungen liegt der Schwerpunkt der Arbeit auf der Konstruktion der Fortbildungsmaterialien, sowohl sachanalytisch, experimentell und didaktisch-methodisch. In einer iterativen Abfolge fließen die Ergebnisse der Interviewstudie und der fachdidaktischen Entwicklung in die Konzeption der Fortbildung ein, die durch evaluative Maßnahmen wiederum auf die fachdidaktische Entwicklung rückwirkt. In Abbildung 4.4 ist der Ablaufplan der vorliegenden Arbeit aufgeführt.

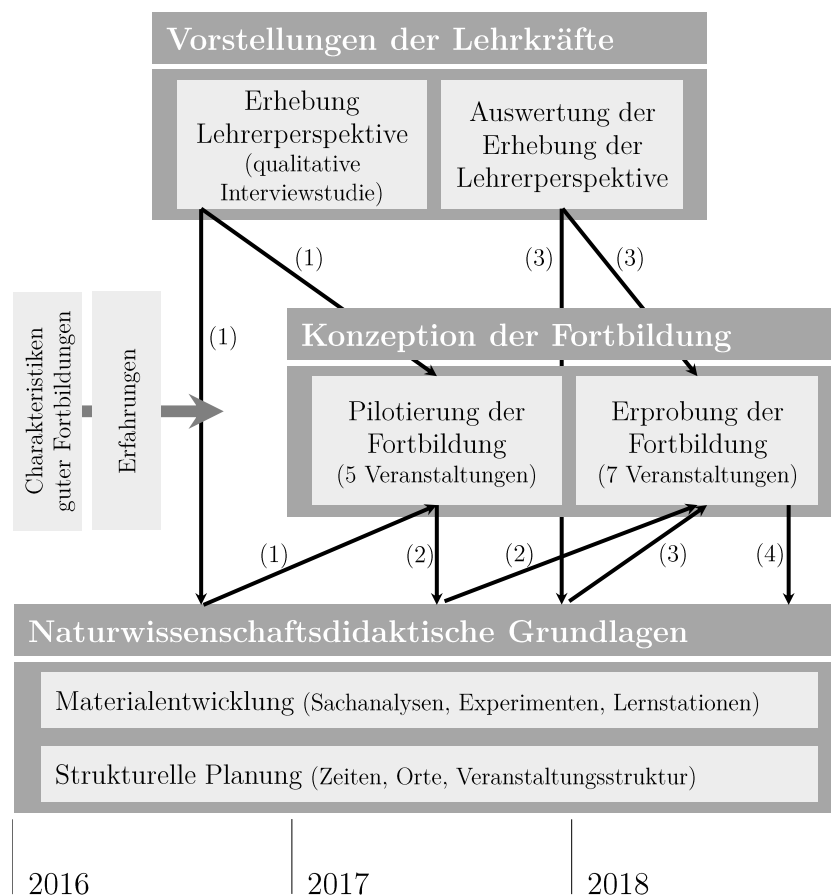


Abbildung 4.4: Untersuchungsablauf: iteratives Vorgehen der einzelnen Konstruktionsschritte.

Die Materialentwicklung für die Fortbildung verläuft über den kompletten Zeitraum der Untersuchung und stellt damit das Kernelement dar. Einfluss auf den gesamten Prozess haben die aus der Literatur abgeleiteten Kriterien guter Lehrerfortbildungen sowie

subjektive Erfahrungen, die sich aus den zahlreichen Lehrerfortbildungen der Arbeitsgruppe Chemiedidaktik Jena ableiten, die im Rahmen des Chemielehrerfortbildungszentrums Jena-Leipzig stattfinden. Begleitend zur Materialentwicklung und strukturellen Gestaltung der Fortbildung wirken die Vorstellungen der Lehrkräfte. Hierfür wurde eine qualitative Interviewstudie mit Lehrkräften über deren Vorstellungen von

- a) gutem fächerübergreifenden Unterricht in Naturwissenschaften,
- b) Chancen und Hürden beim Unterrichten dieser Disziplin und
- c) Anforderungen an eine adäquate Fortbildung

durchgeführt. Parallel zur Erhebung und Auswertung der Interviewstudie findet zuerst eine Pilotierung der Fortbildung bestehend aus fünf Einzelveranstaltungen statt, später dann die Erprobung des gesamten Fortbildungskonzeptes aus insgesamt sieben Veranstaltungen. Die Pilotierung wurde auf Grundlage der bis dahin erfolgten Materialentwicklung, den Erfahrungen und Charakteristiken guter Fortbildungen sowie ersten informellen Ergebnissen der Interviewstudie konstruiert (Pfeile (1)). Unter informellen Ergebnissen ist hier zu verstehen, dass die Durchführung der Interviews Einfluss auf die Konzeption der Pilotierung nimmt. Dies liegt insbesondere daran, dass der Referent der Pilotierung ebenfalls die Interviews führte. Hierbei zeichnet sich bereits ein typischer Aspekt der partizipativen Aktionsforschung ab, auf die weiter unten genauer eingegangen wird. Die Ergebnisse der Pilotierung, die sich aus einer begleitenden Evaluation ergeben, fließen in einem Überarbeitungsschritt der Materialien und der Fortbildungsstruktur in die Erprobung der Fortbildung ein (Pfeile (2)). Die begleitende Evaluation umfasst die Erfassung der Teilnehmerzufriedenheit, eine ausführliche Evaluation der Begleitmaterialien sowie eine abschließende Gruppendiskussion (siehe Kapitel 7). Weiterhin üben die Daten zur Lehrerperspektive Einfluss auf die Erprobung der Fortbildung sowie auf die Materialentwicklung und Veranstaltungsstruktur aus (Pfeile (3)). Zuletzt ergeben sich aus der Erprobung für sich anschließende Arbeiten zu Fortbildungen für fächerübergreifenden Unterricht Erkenntnisse bezüglich der Fortbildungsgestaltung auf inhaltlicher wie struktureller Ebene (Pfeil (4)).

Prinzipiell muss angemerkt werden, dass eine Trennung von Forscher und Referent den Vorteil hätte, in Fortbildungen intensiv z. B. durch Beobachtungsprotokolle kooperative Arbeitsstrukturen zwischen Lehrkräften beim Experimentieren zu erschließen. Jedoch ergab sich aus der Projektstruktur der Umstand, dass Forscher und Referent in einer Person zusammenfallen, da im Teilprojekt 1 jeweils nur eine Person mit der Aus- bzw. Fortbildung beauftragt wurde. So muss beachtet werden, dass Beobachtungen des Referenten im Rahmen der Fortbildung stets einen subjektiven Charakter aufweisen. Auch auf die

abschließende Gruppendiskussion in der Pilotierung wird durch den Referenten als Interviewer ein stark situativer Kontext geschaffen. Die vorliegende Arbeit weist einen hohen Grad an qualitativer Forschung auf und dient in erster Linie der Hypothesengenerierung und der konzeptionellen Erarbeitung der Fortbildung. Aus diesem Grund muss sich die Studie vor allem durch eine hohe interne Validität auszeichnen. Dies wird hier durch Methodentriangulation erreicht. Die Ergebnisse der Interviewstudie stehen in einem Ergänzungsverhältnis zur konzeptionellen Arbeit bzw. zur Sachstruktur der Fortbildungsinhalte und der Fortbildungsstruktur. Zudem werden über Pilotierungs- und Erprobungsphasen mit begleitender Veranstaltungsevaluation die konzeptionellen Arbeiten wiederum auf ihre Wirksamkeit überprüft. So wird die Fortbildung aus drei Perspektiven betrachtet: aus Sicht der Sachstruktur (Inhalt und Struktur der Fortbildung), aus Sicht der Lehrerperspektive (in Bezug auf die Fortbildung) und aus der Praxissicht (während der Fortbildung). Des Weiteren werden die Fortbildung bzw. die qualitativen Ergebnisse mit den in Kapitel 3 dargestellten Befunden zu wirksamen Lehrerfortbildungen verglichen, was wiederum die externe Validität erhöht.

Es zeigt sich, dass diese Arbeit auf Grundlage des Modells der Didaktischen Rekonstruktion die empirischen Zusammenhänge zu guten Lehrerfortbildungen auf die hier entwickelte, evaluativ begleitete Fortbildung bezieht, dabei die Perspektiven der Lehrkräfte berücksichtigt, um so praxistaugliche Möglichkeiten zur Umsetzung fächerübergreifenden Unterrichts aufzuzeigen. Damit weist diese Arbeit anteilmäßig typische Aspekte für curriculare Entwicklungen im Rahmen fachdidaktischer Aktionsforschung auf (Ralle & Di Fucia, 2014), die erstmalig auf Arbeiten von Woest (1995) zurückgehen. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass entgegen der Aktionsforschung Forscher und Teilnehmer (hier die teilnehmenden Lehrkräfte an der Fortbildung) nicht in einem gleichberechtigten Setting über die Forschungsfrage entscheiden bzw. diese bearbeiten, wie es von Bortz und Döring (2003, S. 344) als ein Grundsatz der Aktionsforschung benannt wird. Der Grund dafür liegt in der Struktur des Forschungsprojektes: Eine gleichberechtigte Zusammenarbeit würde bedeuten, dass Forscher und Lehrkräfte im Rahmen der Fortbildung gemeinsam Unterrichtsstrategien für fächerübergreifende Naturwissenschaften erarbeiten, erproben und evaluieren. Zuvor konnte jedoch gezeigt werden, dass die Entwicklung konkreter Unterrichtseinheiten, Methoden, Medien etc. aus Gründen des fachfremden Unterrichts erst in einem sich an diese Arbeit anschließenden Schritt realisiert werden können. Da in dieser Studie die Rolle des Forschers und des Referenten der Fortbildung zusammenfällt, was wiederum ein typischer Aspekt der Aktionsforschung ist, gleichzeitig aber die Fragestellung vom Forscher ausgeht, lehnt sich die vorliegende Arbeit an die partizipative fachdidaktische Aktionsforschung an (Eilks & Ralle, 2002).

Kapitel 5

Interviewstudie mit Lehrkräften

5.1 Zielsetzung

Ziel dieses Kapitels ist die Untersuchung der Lehrerperspektive in Bezug auf Fortbildungen zu fächerübergreifenden Naturwissenschaften in Thüringen im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion. Damit richtet sich die hier vorliegende Untersuchung an die Forschungsfragen F-1 bis F-4 (siehe Kapitel 4.2). Kapitel 3 hat ergeben, dass sich die Fragen nach guten Lehrerfortbildungen für fächerübergreifende Naturwissenschaften nicht allein aus der Literatur beantworten lassen. Mit dieser Untersuchung sollen daher bestehende Befunde mit den gewonnenen Erkenntnissen durch die Befragung Thüringer Lehrkräfte abgeglichen und im Kontext integrierten Naturwissenschaftsunterrichts spezifiziert werden. Damit verfolgt die hier dargestellte Interviewstudie einen induktiven Erkenntnisweg mit dem Ziel der Hypothesengenerierung.

Um die in Kapitel 4.2 dargestellten Fragen über die Gelingensbedingungen von gutem fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht sowie die Merkmale einer guten Fortbildung aus Sicht der Thüringer Lehrkräfte zu beantworten, wird eine qualitative Interviewstudie als Untersuchungsmethode gewählt. Da es in diesem Kontext vor allem um subjektive Sichtweisen, Meinungen oder Problemfelder in der Arbeitswelt der Lehrkräfte geht, sind Interviews ein geeignetes Untersuchungsinstrument (Bortz & Döring, 2003). Eine Fragebogenstudie hätte aufgrund der nicht ausreichend detaillierten Forschungslage viele offene Antwortformate nach sich gezogen, deren Bearbeitung für die gestellten Forschungsfragen ggf. nicht ausführlich oder differenziert genug gewesen wäre. Interviews haben hier den Vorteil, dass gezielt Nachfragen gestellt werden können, um einen Sachverhalt mit dem angezielten Maß an Konkretisierung zu diskutieren. Außerdem wird durch den persönlichen Kontakt bei Interviews gegenüber den Lehrkräften eine hohe Bedeutung ihrer Meinung und Einschätzungen zugemessen, wodurch eine ausführlichere Beantwortung der Fragen erreicht werden kann. Neben Interviews wären auch Gruppenbefragungen

bzw. Gruppendiskussionen mit mehreren Lehrkräften infrage gekommen. Dies hätte den Vorteil gehabt, dass mit einem geringeren Zeitaufwand eine größere Stichprobe zu erreichen gewesen wäre. Jedoch hätten Gruppeninterviews einerseits einen erheblicheren organisatorischen Aufwand nach sich gezogen. Andererseits soll durch die hier dargestellte Studie eine hohe Bandbreite an Lehrerperspektiven erfasst werden. Befragungen in Gruppen können das Problem nach sich ziehen, dass bestimmten Meinungen anderer Interviewten lediglich zugestimmt wird, ohne die eigene Meinung konkret zu explizieren.

5.2 Art der Interviews und Kontextbedingungen

Nach Bortz und Döring (2003, S. 238) lassen sich Interviews hinsichtlich

- des Ausmaßes an Standardisierung,
- des Autoritätsanspruches des Interviewers,
- der Art des Kontaktes,
- der Anzahl der befragten Personen,
- der Anzahl der Interviewer und
- der Funktion unterscheiden.

Aufgrund der wenig detaillierten Kenntnisse über Anforderungen an gelungene Fortbildungen für fächerübergreifenden Unterricht wurde ein halbstandardisiertes, leitfadengestütztes Verfahren gewählt, das Formen narrativer Schilderungen zum Problemfeld des fächerübergreifenden Unterrichts zulässt und gleichzeitig die Möglichkeit bietet, spezielle Aspekte konkret zu erfragen, die für die Konstruktion der Weiterbildung von besonderem Interesse sind (siehe 5.3). Da die Frage nach Gelingensbedingungen guten fächerübergreifenden Unterrichts sowie die Merkmale einer adäquaten Fortbildung die Lehrkräfte als Praxisexperten verstehen und die Befragung lediglich zum Zweck der Informationsbeschaffung dient, sind die Interviews als neutral zu bezeichnen¹. In Bezug auf die zu klärenden Forschungsfragen als deskriptive Erfassung von Tatsachen bzw. Ansichten ergibt sich die Funktion der Interviews als informationsermittelnd².

¹Interviews lassen sich in hart, neutral und weich unterteilen (Bortz & Döring, 2003, S. 239–241). Harte Interviews werden meist für die Untersuchung tabuisierter Verhaltensweisen eingesetzt, bei denen der Interviewer durch eine autoritäre, aggressive Haltung und das Anzweifeln der gegebenen Antworten den Interviewten dazu bringen möchte, entsprechende Abwehr- oder Leugnungsmechanismen abzulegen. Weiche Interviews beziehen sich dagegen auf sensible Themen im Sinne der Psychotherapie, bei denen der Interviewer bewusst einfühlend vorgeht. Neutrale Interviews verstehen die Interviewten als gleichberechtigte Partner, die für eine wissenschaftliche Untersuchung zum Zwecke der Informationsbeschaffung befragt werden.

²Beratungsgespräche wären beispielsweise informationsvermittelnd.

Die Interviews wurden als persönliche Befragung durchgeführt, da Telefoninterviews nur für relativ kurze Interviews (ca. 20 Minuten) geeignet sind. Die Interviewzeit für die vorliegende Befragung betrug 40 bis 50 Minuten. Insgesamt wurden elf Lehrkräfte unterschiedlicher Schulformen (siehe Tabelle 5.1) interviewt, sieben davon am Arbeitsplatz des Interviewers, drei am Arbeitsplatz der jeweiligen Lehrkräfte und eine Lehrkraft in einem öffentlichen Café. Alle interviewten Lehrkräfte waren weder Teilnehmer an Pilotierungen noch Erprobungen der Fortbildung, sodass die Aussagen der Lehrkräfte nicht durch bereits gewonnene Eindrücke einer möglichen Fortbildung für fächerübergreifenden Unterricht im Rahmen dieser Arbeit beeinflusst sind.

Tabelle 5.1: Sozioökonomische Daten der befragten Lehrkräfte.

	Anzahl
<i>Schulform</i>	
Gymnasium	4
Regelschule	3
Gesamt- und Gemeinschaftsschulen	4
<i>Dienstjahre mit Referendariat</i>	
0 bis 10	1
11 bis 20	0
21 bis 35	9
36 bis 45	1
<i>Unterrichtserfahrung in fächerübergreifenden Naturwissenschaften</i>	
ja	9
nein	2

Bei zwei der insgesamt neun Interviews wurden zwei Lehrkräfte parallel befragt, die restlichen Interviews waren Einzelbefragungen. Die beiden Doppelinterviews wurden auf den Wunsch der befragten Lehrkräfte durchgeführt. Um die Gesprächsatmosphäre im Vorfeld aufgrund einer Verwehrung der Befragung als Doppelinterview nicht zu beeinflussen, wurde diesem Wunsch stattgegeben. Außerdem erfolgte die Gesprächsführung nur durch eine und jedes Mal dieselbe Person. Dieser Umstand liegt zum einen daran, dass nur eine Person im Forschungsprojekt ProfJL für die Konstruktion der Fortbildung verantwortlich ist, zum anderen konnte so auch eine angenehme Gesprächsatmosphäre geschaffen werden. Da es sich zudem auch nicht um Experteninterviews handelt, bei denen ein einzelner Interviewer mit der Komplexität des Befragungsgegenstandes überfordert sein kann, war es auch nicht nötig, mehrere Interviewer heranzuziehen.

5.3 Konstruktion des Interviewleitfadens und Bezug zu den Forschungsfragen

Die durchgeführten Interviews gliedern sich in sechs Teilbereiche³:

- I Begrüßung und Erklärung des Interviewablaufes
- II allgemeine Fragen zur Person
- III Komplex 1: Fragen zu Merkmalen guten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts
- IV Komplex 2: Fragen zu Defiziten beim Unterrichten integrierter Naturwissenschaftsfächer
- V Komplex 3: Fragen zu Anforderungen an eine gelungene Fortbildung für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht
- VI Möglichkeit für weitere Anmerkungen und Verabschiedung

Im ersten Block des Interviews wurde den Lehrkräften zunächst der Ablauf des Interviews erklärt sowie der Projektbezug und das Forschungsinteresse genannt, um ein kontextuelles Umfeld zu schaffen. Hierdurch sollte den Lehrkräften zudem die Bedeutung ihrer Meinung für die Entwicklung einer adäquaten Fortbildung aufgezeigt werden. Im zweiten Block wurden sozioökonomische Daten erfasst. Die Blöcke III, IV und V, an die sich ein das Interview beendender Block VI mit der Möglichkeit, neben den gestellten Fragen weitere Anmerkungen zuzulassen, anschließt, stellen die inhaltlichen Fragestellungen mit Bezug auf die Forschungsfragen dar. Jeder Block beinhaltet dabei im Interviewleitfaden neben der konkreten Interviewfrage auch Anstriche, die als Impulse für die Gesprächsführung oder spätere Antwortkategorien ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu verstehen sind. Denn prinzipiell genügen die Interviews einem induktiven Anspruch, da sich aus der Literatur nur unzureichend deduktiv Kategorien hätten ableiten lassen (siehe Kapitel 5.1).

Die Frage nach Merkmalen guten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts (Block III) knüpft an die Diskussionen aus Kapitel 2.1.3 an. Jedoch zielt dieser Komplex konkret auf Qualitätsmerkmale fächerübergreifenden Unterrichts ab, wohingegen in Kapitel 2.1.3 durch wesentliche Arbeiten von Rehm et al. (2008), Küster (2014) und Labudde (2014) eher bildungspolitisch, lernpsychologisch und allgemeindidaktisch Begründungslinien für und gegen fächerübergreifenden Unterricht dargestellt wurden. Die Impulsanstriche im Leitfaden orientieren sich daher an den praxisorientierten *im Kontext*-Konzepten (Hössle et al., 2009) (vgl. Kapitel 2.1.3 und 2.3) sowie an naturwissenschaftsspezifischen

³Der komplette Interviewleitfaden ist in Anhang B einsehbar.

Merkmale guten Unterrichts bei Wilhelm (2007), der in Anlehnung an die Merkmale guten Unterrichts nach Hilbert Meyer (2004) diese naturwissenschaftsspezifisch um einen deutlichen Fachbezug ergänzt. In Kapitel 6 wird gezeigt, dass die in dieser Arbeit dargestellten Fortbildungen ebenfalls unter der Prämisse eines notwendigen, deutlichen Fachbezuges konstruiert wurden. Des Weiteren ist zu erwarten, dass die Lehrkräfte bei diesem Komplex auch zahlreiche allgemeine Merkmale guten Unterrichts nennen, sodass durch fachorientierte Impulsfragen die Aussagen auf die Situation im fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht spezifiziert werden können.

In Anbindung an Block III stellt Block IV die Fragen zu Hürden bzw. Defiziten fächerübergreifenden Unterrichtens. Prinzipiell ist hierbei zu erwarten, dass sich viele Aussagen mit denen zum Block III überschneiden (Komplex 2). Dennoch stellt diese Frage hinsichtlich der möglichen Unterstützungsmaßnahmen in einer Fortbildung ein entscheidendes Element dar. Die hierbei aufgeführten Impulse wurden nach der Einteilung bei Fruböse et al. (2011) in fachliche, fachdidaktische und praktisch-experimentelle Defizite eingeteilt. Der Komplex weist weiterhin einen Theoriebezug zu den Arbeiten von Döriges (2001), Bröll und Friedrich (2012) sowie Küster (2014) auf.

Hinsichtlich der in Kapitel 4.2 formulierten Forschungsfragen beziehen sich die Blöcke III und IV auf die Frage F-3, die Gelingensbedingungen fächerübergreifenden Unterrichtens in den Naturwissenschaften thematisiert. Daher sollen vorrangig Problemfelder und Besonderheiten fächerübergreifenden Unterricht als eine Liste mit Merkmalen guten fächerübergreifenden Unterrichts abgeleitet werden. Dieser Anspruch würde eine deutlich größere Stichprobe sowie ein grundlegend anderes Untersuchungsdesign mit empirischer bzw. quantitativer Absicherung verlangen. Die Ergebnisse dieser beiden Blöcke bilden damit die Kontextbedingungen der zu konstruierenden Fortbildung (vgl. hierzu die Modelle für wirksame Lehrerfortbildungen von Desimone (2009), Lipowsky (2010) und Van den Akker (1998, 2003)).

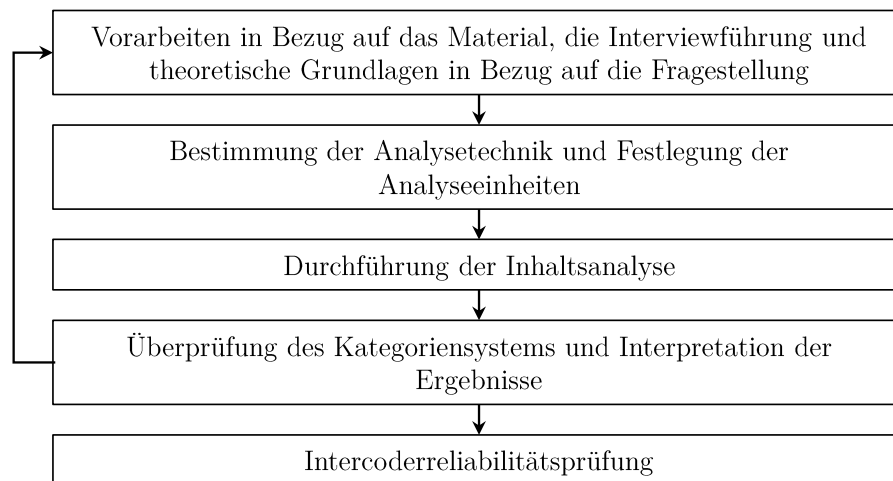
Block V stellt inhaltlich den umfangreichsten Teil des Interviews dar. Hier werden sowohl strukturelle, inhaltliche als auch methodische Aspekte bezüglich einer gelungenen Fortbildung für fächerübergreifenden Unterricht erfragt (für die theoretischen Hintergründe siehe Kapitel 3). Hierbei werden die allgemeinen *core features* nach Desimone (2009) bzw. Merkmale wirksamer Lehrerfortbildungen nach Lipowsky (2009) im Kontext des naturwissenschaftlichen Unterrichts in Thüringen konkretisiert. Ein wesentlicher Punkt bei Block V ist zuletzt die Frage nach der Gestaltung der Begleitmaterialien, da hierzu in der Literatur lediglich erwähnt wurde, dass die Qualität der Materialien einen Einfluss auf die Wirkung einer Fortbildungsmaßnahme macht (siehe Kapitel 3). Wie diese jedoch im Detail auszudifferenzieren sind, bleibt offen und soll durch den Komplex 3 geklärt werden. Damit

deckt dieser Block sowohl die Forschungsfrage F-2 nach der inhaltlichen und strukturellen Gestaltung der Fortbildung sowie F-4 nach den Anforderungen an die Begleitmaterialien ab. Die Forschungsfrage F-1, die die Ziele der Fortbildung festlegt, wird sich abschließend erst durch die Verknüpfung der Interviewergebnisse mit der fachdidaktischen Entwicklungsforschung beantworten lassen.

5.4 Auswertung der Interviews nach der Qualitativen Inhaltsanalyse

5.4.1 Beschreibung des Vorgehens

Die Auswertung der Interviews erfolgt nach der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring.



Quelle: verändert nach (Mayring, 2014, S. 54)

Abbildung 5.1: Ablauf einer Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring.

Abbildung 5.1 zeigt ein vereinfachtes Ablaufmodell der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring, das die Regelgeleitetheit und damit die Nachvollziehbarkeit für Dritte ermöglicht. Bevor die eigentliche Auswertung von Interviewdaten erfolgt, sind nach diesem Modell die folgenden Schritte durchzuführen (erster Block in Abbildung 5.1):

- a) **Festlegung des Materials.** Es handelt sich um teilstrukturierte, leitfadengestützte Interviews mit Naturwissenschaftslehrkräften unterschiedlicher Schulformen in Thüringen (siehe 5.2)
- b) **Analyse der Entstehungssituation.** (siehe 5.2)

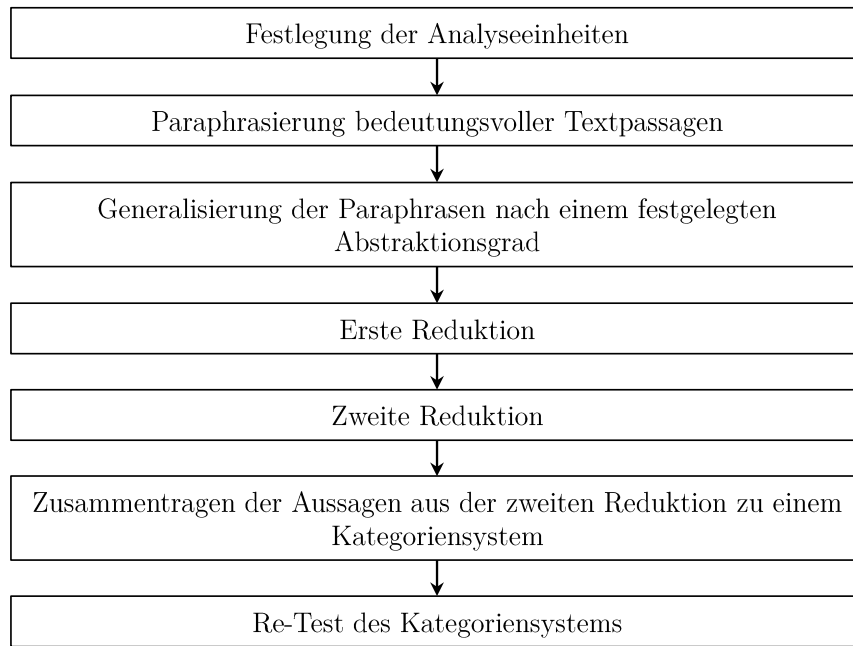
- c) **Formale Charakteristika des Materials.** Die Interviews wurden mit einem Diktiergerät aufgenommen und anschließend als Wortprotokolle transkribiert⁴.
- d) **Richtung der Analyse.** Die Lehrkräfte wurden nach Aussagen, Problemfeldern und Anregungen in Bezug auf fächerübergreifenden Unterricht und eine adäquate Fortbildung befragt. Die Kommunikationsebene ist durch ein Gespräch zwischen Lehrkraft und Fachdidaktiker festgelegt.
- e) **Theoretische Differenzierung der Fragestellungen.** (siehe Kapitel 2, 3 und 5.3)

Der Interviewleitfaden (siehe 5.3) zeigt, dass sich die Fragen, die an die Lehrkräfte gestellt werden, durch eine hohe Allgemeinheit und Komplexität kennzeichnen. Aus diesem Grund ist es zu erwarten, dass die Aussagen der Lehrkräfte ebenfalls sehr umfangreich ausfallen sowie viele Beispiele und allgemeine, nicht auf fächerübergreifenden Unterricht bezogene Aussagen enthalten, da sich auch die Lehrkräfte während der Beantwortung der Fragen diesen kognitiv erst nähern müssen. Aus diesem Grund wurde als Analyseform die Reduktion gewählt⁵, deren primäres Ziel die Komprimierung des Materials auf grundlegende Aussagen ist. Hierbei werden die zusammenfassende Inhaltsanalyse und die induktive Kategorienbildung unterschieden. Prinzipiell hat die induktive Analyse gegenüber der zusammenfassenden Inhaltsanalyse den Vorteil, dass große Textmengen sehr effektiv ausgewertet werden können, da nur das Material, das für die Forschungsfragen entscheidend ist, ausgewertet wird, keine Paraphrasen zu bilden sind und das Reduktionslevel, d. h. das Level an Abstraktion der finalen Kategorien, im Voraus bestimmt wird. Bei der zusammenfassenden Inhaltsanalyse wird das Abstraktionsniveau in jedem Schritt neu festgelegt.

Da die Interviews in dieser Studie jedoch als Bestandteil der Konstruktion der Fortbildung dienen, ist es für die Auswertung entscheidend, ein geeignetes Mittel zwischen einer zusammenfassenden Verallgemeinerung der getroffenen Aussagen im Sinne einer Reduktion und einer Aufrechterhaltung eines möglichst hohen Konkretisierungsgrades der Aussagen zu finden. Ziel muss es also sein, ein allgemeines, übersichtliches Kategoriensystem zu finden, das sich durch vorherige, weniger reduzierte Kategorien explizieren lässt. Aus diesem Grund wurde sich für die zusammenfassende Inhaltsanalyse als Auswertungsmethode entschieden (siehe Abbildung 5.2), da zudem die geringe Stichprobe (elf Lehrkräfte) trotz umfangreichen Einzelmaterials eine zeiteffiziente Auswertung ermöglicht.

⁴Die Transkripte selbst wurden nach einem inhaltlich-semantischen System erstellt, da für die Auswertung lediglich die inhaltlichen Aussagen der Lehrkräfte von Interesse sind (Dressing & Pehl, 2018, S. 16-33). Deswegen erfolgte die Transkription wörtlich mit einer Übertragung der verbalen Daten in ein einheitliches, standarddeutsches Schriftsystem (Höld, 2009). Für verschiedene Formen der Transkriptionsmethoden siehe Mayring (2014, S. 45).

⁵Insgesamt werden nach Mayring neun verschiedene Analyseformen unterschieden, die sich in vier Oberformen integrieren: Reduktion, Explikation, Strukturierung und Mischformen.



Quelle: verändert nach (Mayring, 2014, S. 66)

Abbildung 5.2: Ablauf einer zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring.

Als Analyseeinheiten wurden für alle drei Komplexe Phrasen oder Satzteile als Kodiereinheit (kleinste kodierbare Einheit), ganze Absätze als Kontexteinheit und alle aus den Interviews gewonnenen Transkripte als Aufnahmeeinheit festgelegt. Im folgenden Kapitel wird die Auswertung des Materials nach der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring mithilfe der Software QCAmap⁶ vorgestellt. Die zugrunde liegenden Regeln finden sich im Anhang C. Das Kategoriensystem, das durch die Erstkodierung entstanden ist, findet sich in Anhang D. Die entsprechenden Kategorien dieses Systems sind in der Form X-R'Z nummeriert, wobei X für die Buchstaben B (Komplex 1/ Block III), C (Komplex 2/ Block IV) und D (Komplex 3/ Block V) steht und Z für die Zahl der Kategorie. Die Kennung R' verdeutlicht, dass zwei Reduktionsschritte durchgeführt wurden. Das durch den Re-Test überarbeitete Kategoriensystem wird im Kapitel 5.5 dargestellt und diskutiert. Dieses überarbeitete, finale Kategoriensystem wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur mit Zahlen durchnummeriert.

5.4.2 Exemplarische Darstellung der einzelnen Analyseschritte

Erst-Kodierung

Für das Vorgehen der zusammenfassenden Inhaltsanalyse⁷ wird die folgende Aussage aus dem Transkript zum Interview 10, in Bezug auf die Frage, ob die Experimente im Begleit-

⁶<https://www.qcamap.org/>

⁷Der gesamte Ablauf der Qualitativen Inhaltsanalyse für die Komplexe 1 bis 3 ist in Anhang A unter CD2, CD3 und CD4 aufgeführt.

material als fertige Kopiervorlagen darzustellen sind, exemplarisch vorgestellt⁸:

„Kann man, muss man aber nicht. **Aber im Prinzip, es gibt ja diese Experimentierbücher, die es früher auch in der DDR gab, da waren so wesentliche Warnhinweise standen da, was man an Material braucht und die Durchführung. Und im Prinzip, was man beobachten kann, wenn es richtig lief.** Den Rest stelle ich mir für meinen Unterricht selbst zusammen. Weil da ist ja jeder auch anders, der eine sagt, das kommt drauf an, wie ich das Experiment einsetze, ich habe es schon vermittelt und möchte das nur nochmal darstellen und möchte es nochmal wiederholen, möchte es an einem anderen Beispiel zeigen, ich kann es aber auch zum Erkenntnisgewinn einsetzen, ich kann es nur zum Einführen, um zu interessieren, da brauch ich ja gerade nicht groß dahinter zu schauen. **Experimente können ja unterschiedlich eingesetzt werden. Und das muss mir aber keiner von der Uni machen. Das müsste ich als Lehrer eigentlich drauf haben.** Nur das reine Experiment und was es zu beachten gibt und eventuell noch unten drunter, was schief gehen könnte, wenn ich dies oder das nicht beachte. Das ist ja für mich so als Lehrer wichtig. Wenn du das zu stark erhitzt, dann zack, sowas bräuchte ich da.“

Diese Aussage wird zu folgender Paraphrase (D-P84) zusammengefasst:

Man braucht nicht unbedingt fertige Experimentieranleitungen. Wichtig ist eine Materialliste und eine Durchführung und Warnhinweise. Die genaue Ausführung der Experimentiermaterialien hängen dann vom Unterricht und vom Einsatz im Unterricht ab. Wichtig wäre noch, was bei dem Experiment zu beachten ist und was schief gehen könnte.

Prinzipiell werden immer ganze Absätze paraphrasiert. Bei sehr komplexen Fragestellungen, z. B. nach Kompetenzen der Lehrkraft für fächerübergreifenden Unterricht oder nach inhaltlichen Leitlinien der Fortbildung, fallen die Antworten der Lehrkräfte nicht nur sehr umfangreich aus, sondern charakterisieren sich auch durch komplexe Denk- und Antwortstrukturen, die durch die Zerteilung der Absätze in einzelne Passagen ihrem Sinngehalt entbehren würden. Diese Form der Paraphrasierung reduziert zudem das umfangreiche Material effizient, wodurch die Auswertung erleichtert wird.

Für die Generalisierung wurde folgendes Abstraktionsniveau definiert, das auch für die Komplexe 1 und 2 gilt: *Die Aussagen sollen fallspezifisch bleiben, aber keine umfangreichen Beispielerläuterungen beinhalten. Außerdem sollen keine Überbegriffe verwendet werden und die Aussagen noch auf die kleinste Sinneinheit ersichtlich bleiben.* Unter Überbegriffen sind Verallgemeinerungen oder zusammenfassende Begriffe gemeint. So soll in Bezug auf das obige Beispiel auf die Verwendung einer Generalisierung in der Form

⁸Sämtliche Transkripte sowie eine Übersicht über alle Paraphrasen mit entsprechender Erst- und Zweitkodierung findet sich im Anhang CD2 bis CD7.

grobe Lernmaterialien verzichtet werden. Stattdessen soll eindeutig der Informationsgehalt auf Experimentieranleitungen als eine Form von Lernmaterialien bezogen bleiben sowie die Erläuterungen über die Form der Anleitungen (kleinste Sinneinheit). Das auf diese Weise definierte Abstraktionsniveau hat zur Folge, dass sich die generalisierten Paraphrasen von den vorherigen an keiner Stelle unterscheiden, da alle Aussagen aufgrund der Forderung nach dem Erkennen der kleinsten Sinneinheit über dem angegebenen Abstraktionsniveau liegen. Damit wurden die Paraphrasierung und die Generalisierung in einem Schritt zusammengefasst, sodass die entsprechenden Textpassagen direkt auf das angegebene Abstraktionsniveau paraphrasiert werden.

In der ersten Reduktionsstufe wurden die generalisierten Paraphrasen zu Merkmalen zusammengefasst. Auch hierbei sollen die Merkmale noch so konkret wie möglich bleiben. Aus diesem Grund wurden die Merkmale zwar als verallgemeinerte Stichpunkte formuliert, jedoch in Klammern Konkretisierungen angegeben. Für die ausgewählte Paraphrase ergeben sich so die folgenden Kategorien:

- D-R11: Begleitmaterial: Experimentieranleitungen mit Lösungen
- D-R12: Begleitmaterial: grobe Arbeitsblätter/ Experimentieranleitungen (modular aufgebaut, nicht mit fertigen Linien zum Schreiben)
- D-R22: Begleitmaterial: fachliche und fachdidaktische Hinweise für Materialien (Kniffe/ Tricks, Abwandlungsmöglichkeiten, Sicherheitsaspekte)

Gerade hinsichtlich der Schülermaterialien können große Schwankungen hinsichtlich des Fertigungsgrades festgestellt werden. Die im zweiten Anstrich formulierte Kategorie steht dabei für diejenigen Äußerungen, bei denen sich die Lehrkräfte keine fertigen Arbeitsblätter etc. wünschen. Hier zeigt sich eine deutliche Reduktion des Materials, da die in Klammern aufgeführten Konkretisierungen aus einer anderen Paraphrase (siehe Anhang CD: D-P6) des ersten Interviews stammen und sich semantisch mit der hier diskutierten Paraphrase nicht widersprechen. Gleichzeitig wird deutlich, dass die in Klammern dargestellten Ergänzungen relevant für die Konstruktion des Begleitmaterials sind. So kann aus einer Aussage, dass die Begleitmaterialien fachliche und fachdidaktische Hinweise enthalten sollen, weniger über die Gestaltung des Materials abgeleitet werden, als wenn deutlich wird, dass hierbei z. B. Möglichkeiten zur Abwandlung eines Experimentes gemeint sind. Weiterhin zeigt sich, dass die Kategorien in der ersten Reduktionsstufe noch eindeutige Überlappungen aufweisen, so z. B. der erste und zweite Anstrich. Aus diesem Grund wird in einem zweiten Reduktionsschritt das finale Kategoriensystem gebildet.

In der zweiten Reduktionsstufe sollen die Kategorien der ersten Reduktionsstufe zusammengefasst und soweit verallgemeinert werden, dass sich Oberkategorien ableiten lassen, die jedoch analog zur ersten Reduktion durch in Klammern gesetzte Konkretisierungen

zu spezifizieren sind. Damit gleicht die zweite Reduktion in erster Linie einer Ordnung des Kategoriensystems der ersten Stufe. Zu diesem Zweck wurde jede Kategorie mit einem Vorwort gekennzeichnet, das verdeutlicht, ob es sich bei der jeweiligen Kategorie um die Weiterbildungsaspekte *Organisation*, *Begleitmaterial*, *inhaltliche Gestaltung* oder *methodische Gestaltung* handelt. Aus den oben dargestellten Kategorien wurden damit die folgenden finalen Kategorien abgeleitet:

- D-R11 → D-R'14: Begleitmaterial: Experimentieranleitungen mit Lösungen
- D-R12 → D-R'15: Begleitmaterial: Lernmaterialien für Schüler (variiert hinsichtlich Fertigungsgrad)
- D-R22 → D-R'12: Begleitmaterial (Lehrermaterial): fachliche und fachdidaktische Hinweise für Schülermaterialien/ Experimente

In die Kategorie D-R'15 fließen beispielsweise weitere Kategorien der ersten Reduktion ein:

- D-R21: Begleitmaterial: Arbeitsblätter
- D-R37: Begleitmaterial: Lerntexte für Schüler
- D-R42: schülernahe Materialien (Powerpoint, Abbildungen)
- D-R46: Begleitmaterial: Schülerlernmaterialien (Arbeitsblätter, Texte, Lückentexte) (vor allem für fachfremde Aspekte)
- D-R64: Vorschläge für Lernmaterialien
- D-R73: Nicht: fertige Lernmaterialien

Anschließend wurde durch einen zweiten Kodierer ein Re-Test des Kategoriensystems am Ausgangsmaterial (Transkripte) durchgeführt. Im Anhang A (CD5, CD6 und CD7) findet sich, den entsprechenden Paraphrasen zugeordnet, die Übersicht mit den Kategorien der zweiten Reduktionsstufe des ersten und zweiten Kodierers sowie die Zuordnung aus dem daraus überarbeiteten Kategoriensystem, das in einem Einigungs- und Diskussionsprozess entstand. Im Folgenden werden einige Auffälligkeiten dargestellt.

Überarbeitung des Kategoriensystems zum Komplex 3

Zunächst führte die zuvor beschriebene Wahl, ganze Absätze zu paraphrasieren, im Re-Test zu Unterschieden in der Kodierung bei sehr umfangreichen Antworten, da in der ersten Kodierung bestimmte Kategorien nicht erfasst wurden, die dann durch die Zweit-Kodierung in der zugehörigen Textpassage im Transkript gefunden wurden. Allerdings ist anzumerken, dass diese hier durch die Erstkodierung nicht erfassten Kategorien an anderen Textstellen kodiert wurden, da in den Re-Tests kaum zusätzliche Kategorien aufgeführt wurden, sodass die Re-Tests das in der ersten Kodierung formulierte Kategoriensystem

bestätigen. Somit kann abgeleitet werden, dass sich durch das hier beschriebene Vorgehen ein für die transkribierten Interviews vollständiges Kategoriensystem ableiten ließ.

Weitere abweichende Kodierungen resultierten aus der schwierigen Trennung bestimmter Kategorien, die sich inhaltlich ähneln, jedoch dem Begleitmaterial oder der inhaltlichen Gestaltung zugeordnet sind. So ergeben sich bei Paraphrasen wie

Gerade für Junglehrer ist eine grobe Stoffverteilung wichtig, da die Lehrpläne sehr offen gestaltet sind. Ältere Kollegen haben genug Erfahrung, das dann zu füllen.

leicht Zuordnungen der Kategorien D-R'24 und D-R'8, die sich beide auf Stoffverteilungspläne beziehen, nur zum einen auf die Tatsache, dass eine Grobplanung in der Fortbildung zu thematisieren sei (D-R'24) und zum anderen diese Grobplanung Bestandteil des Begleitmaterials sein sollte (D-R'8). Da sich die auf das Begleitmaterial und auf den Inhalt bezogenen Kategorien gegenseitig jedoch nicht ausschließen, wird diese Unsicherheit im finalen Kategoriensystem akzeptiert, zumal bei der eben dargestellten Paraphrase auch nicht abzuleiten ist, ob die interviewte Lehrkraft ihre Aussage ausschließlich auf Inhalt oder Begleitmaterial der Fortbildung bezog oder ohnehin beides im Sinn hatte. Auf diese Weise lassen sich die Kategorien am Ende leichter interpretieren, da ihr Bezug auf die entsprechenden Konstruktionselemente einer Fortbildung eindeutig definiert ist.

Auffallend ist weiterhin, dass die Kategorien D-R'30 bis D-R'33 wenig trennscharf sind. Hier haben sich bei vielen Paraphrasen Abweichungen in der Kodierung ergeben (siehe z. B. D-P1, D-P4, D-P13, D-P16, D-P61 und D-P89). Diese vier Kategorien beziehen sich alle auf den methodischen Aspekt der kollektiven Arbeit, die jedoch unterschiedlich charakterisiert wurden (Austausch, gegenseitiges Erklären, Erstellung von Unterrichtsmaterial, Präsentation eigener Materialien). Daher wurden diese vier Kategorien zu einer zusammengefasst. Die Kategorien D-R'6 (Umfang der Fortbildung) und D-R'27 (unterrichtsbegleitende Fortbildungen) wurden oft zusammen kategorisiert, da die Frage nach der zeitlichen Aufteilung der Fortbildungen über ein Schuljahr mit der Idee einer unterrichtsbegleitenden Reihe zusammenhängt. Da die Kategorie D-R'27 jedoch eine stark methodische und die Kategorie D-R'6 in erster Linie eine organisatorische Frage ist, wurde sich gegen ein Zusammenführen beider Kategorien entschieden. Auch die Kategorien D-R'2 (Abminderungsstunden) und D-R'3 (Zertifikat) lassen sich zu *Organisation: zertifizierter Weiterbildungskurs mit Abminderungsstunden* zusammenfassen, da eine Weiterbildung im Sinne eines Zusatzstudiums für fächerübergreifenden Unterricht nicht ohne Abminderungsstunden realisierbar ist. Starke Überschneidungen oder Verwechslungen finden sich auch für die Kategorien D-R'14 und D-R'15, die oben bereits dargestellt sind. Semantisch muss anerkannt werden, dass die Kategorie D-R'14 Bestandteil der Kategorie D-R'15 ist, da Experimentieranleitungen lediglich *eine* Form von Lernmaterialien sind,

sodass beide Kategorien in der Formulierung *Begleitmaterial: Lernmaterialien für Schüler (inklusive Experimentieranleitungen)* zusammengefasst wurden. Die Kategorien D-R'10 (Begleitmaterial (Lehrermaterialien): Darstellung der naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken), D-R'18 (Inhalt (fachlich): naturwissenschaftliche Methodiken) und D-R'19 (Inhalt (fachlich): Fachbegriffe) wurden entfernt, da sie jeweils nur ein Mal genannt wurden. Die Kategorie D-R'19 ist zudem ein Bestandteil der Kategorie D-R'17 (Inhalt (fachlich): fachlicher Hintergrund).

Im Re-Test wurden außerdem weitere Kategorien identifiziert. Diese sind *Möglichkeiten zur Leistungsbeurteilung* sowie *öffentlichkeitswirksame Verbreitung des Angebots*. Die Frage nach einer Leistungsbeurteilung geht mit den Kategorien D-R'11 und D-R'22 einher, die sich in Bezug auf das Begleitmaterial bzw. die inhaltliche Gestaltung (Aufzeigen des angezielten Schülerwissens) bei einem Themenbereich beziehen, auf dessen Grundlage eine Leistungsfeststellung zu gestalten wäre. Da jedoch im Rahmen einer Fortbildung im Sinne des Angebots-Nutzungs-Modells nach Lipowsky (siehe Kapitel 3.1.2) lediglich Angebote für die unterrichtspraktische Umsetzung eines Themas eröffnet werden, lassen sich Fragen über das fachliche Niveau des Unterrichtsinhaltes, dessen methodische und mediale Gestaltung sowie das Training sozialer Kompetenzen nicht pauschal klären. Aus diesen Gründen wurde auf eine eigene Kategorie *Möglichkeiten zur Leistungsbeurteilung* verzichtet. In der gleichen Auffassung der Fortbildung als Angebot folgt für die zweite gefundene Zusatzkategorie, dass die Verbreitung des Angebots elementar für die Nutzung des Angebots ist. Dieser Aspekt, der im Angebots-Nutzungs-Modell für die Lehrerfortbildung nach S. G. Huber und Radisch (2010) der ersten Stufe der Angebotsnutzung zuzuordnen ist (siehe Kapitel 3.1.2), wurde dem Kategoriensystem daher hinzugefügt.

Überarbeitung der Kategoriensysteme zu den Komplexen 1 und 2

In allen Kategoriensystemen finden sich die Kategorien *Lernmaterialien für Lehrer* und *Lernmaterialien für Schüler*, jeweils im entsprechenden Kontext als Bedingung für guten fächerübergreifenden Unterricht (Komplex 1: B-R'11 und B-R'13), als Defizit (Komplex 2: C-R'16 und C-R'17) oder als Begleitmaterial (Komplex 3: D-R'7 bis D-R'15). In allen Re-Tests haben sich Verwechslungen in der Kodierung ergeben, die darauf zurückzuführen sind, dass zum einem keine definierte Abgrenzung zwischen Lernmaterialien für Lehrer und für Schüler dem Kategoriensystem der Erst-Kodierung zugrunde liegt und zum anderen Aussagen von Lehrkräften in der Form

„Ansonsten Defizit wäre sicherlich noch ein passendes Lehrbuch oder Arbeitsmittel, [...].“

keine eindeutige Zuordnung zu Schüler- oder Lehrermaterialien zulassen. Lernmaterialien

für Lehrer werden im Rahmen dieser Arbeit daher festgelegt als jegliche Materialien, die die Lehrkraft hinsichtlich fachlicher, fachdidaktischer oder pädagogischer Vorbereitung unterstützen, jedoch nicht als Schülerlernmaterialien geeignet sind. In allen Kategoriensystemen wurde auf Grundlage dieser Definition die Unterteilung zwischen Schüler- und Lehrermaterial beibehalten, da es sich um deutlich unterschiedliche Formen von Arbeitsmitteln handelt. Weiterhin finden sich auch in den Komplexen 1 und 2 Kategorien zur Einstellung einer Lehrkraft für fächerübergreifenden Unterricht und Bereitschaft zu erhöhtem Arbeitsaufwand (B-R'6/ B-R'7 und C-R'8/ C-R'9). Beide Aspekte wurden häufig gemeinsam erfasst. Mit dem Modell der professionellen Handlungskompetenz von Baumert und Kunter (2006) lassen sich beispielsweise beide Kategorien in die motivationale Orientierung integrieren, wobei Einstellungen zu einem Unterrichtsfach noch stark durch Überzeugungen/ Werthaltungen und die Arbeitsbereitschaft durch selbstregulative Fähigkeiten bestimmt wird. Daher spiegeln beide Kategorien unterschiedliche Einflussgrößen auf Gelingensbedingungen von fächerübergreifendem Unterricht wider. In Komplex 1 und 2 sind zudem einige Kategorien explizit auf die Lehrperson selbst, die Schulorganisation und die Unterrichtsgestaltung bezogen, diese sind mit dem jeweiligen Vorwort *Lehrer*, *Schulorganisation* und *Unterrichtsgestaltung* gekennzeichnet.

Sehr problematisch ist in Komplex 1 die Kategorie B-R'10 (gute Abstimmung zwischen Fachunterricht und fächerübergreifendem Unterricht), da hier sehr viele abweichende Kategorisierungen vorliegen. Dies begründet sich in einigen semantischen Doppeldeutigkeiten, etwa in Bezug auf Lehrpläne (B-R'12), die Unterrichtsgestaltung (B-R'14: Einbezug mehrerer Wissens Ebenen) und die Schulorganisation (B-R'8: Abdeckung möglichst vieler Fachdisziplinen). In der nach dem Re-Test erfolgten Einigung über das Kategoriensystem durch die erneute Sichtung des Originalmaterials wurde jedoch deutlich, dass diese Kategorie einen zentralen und für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht kennzeichnenden Stellenwert einnimmt, da die Lehrkräfte häufig beklagen, dass durch den fächerübergreifenden Unterricht inhaltliche Dopplungen auftreten und viele Themen und damit auch motivierende Experimente dem Fachunterricht vorweggenommen werden.

Letztlich muss in Bezug auf Komplex 1 festgestellt werden, dass das abgeleitete Kategoriensystem, obwohl die Forderung nach der ausschließlichen Aufführung von den integrierten Naturwissenschaftsunterricht kennzeichnenden Merkmalen in die Analyse einging, noch viele Merkmale aufweist, die allgemein für guten Unterricht gelten. Das kann zum einen daran liegen, dass die Lehrkräfte in der Interviewsituation ggf. auch Erfahrungen aus ihrem eigenen Fachunterricht einfließen lassen. Zum anderen hätte der Interviewleitfaden für eine fachübergreifende, naturwissenschaftsspezifische Merkmalsfindung für guten Unterricht wesentlich ausdifferenzierter sein müssen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass es keine einheitliche Didaktik der Naturwissenschaften gibt und sich zudem Merkmale guten

Unterrichts, wie man sie bei Hilbert Meyer (2004) findet, gegenseitig bedingen. Betrachtet man z. B. das Modell des fächerübergreifenden Unterrichts von Labudde et al. (2005), das verschiedenen Dimensionen und Facetten dieser Unterrichtsform abdecken soll, wird deutlich, dass auch hier unter theoretischen Annahmen keine konkret definierbaren Merkmale abgeleitet werden können. So räumen die Autoren ein, dass die Zuordnung bestimmter Merkmale auch durch eine andere Strukturierung möglich ist und sich im Allgemeinen zu wenig konkret auf den fächerübergreifenden Unterricht in Naturwissenschaften bezieht. Um in dieser Arbeit die Frage nach den Gelingensbedingungen für fächerübergreifenden Unterricht in Bezug auf eine zu konstruierende Fortbildung zu beantworten, müssen die Ergebnisse des Komplexes 1 deshalb in Kombination mit den Ergebnissen des Komplexes 2 betrachtet werden. In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass bei den Antworten der Lehrkräfte im Komplex 1 sehr häufig negierte Äußerungen formuliert wurden, wodurch für das Kategoriensystem des Komplexes 1 ohnehin offenbleibt, ob sämtliche gefundene Merkmale wirklich als solche zu identifizieren sind.

Zu diesem Zweck wurde im Re-Test das Kategoriensystem nicht nur auf die Antworten bezüglich Komplex 2 angewendet, sondern auch auf die Antworten zu Komplex 1. Hierbei zeigte sich jedoch, dass durch das Kodieren der Antworten aus Komplex 1 keine zusätzlichen Kategorien gefunden wurden. Allerdings wurde ähnlich wie bei Komplex 3 das Kategoriensystem des Komplexes 2 nach dem Re-Test überarbeitet. Beispielsweise wurden die Lehrplankategorien (C-R'11 bis C-R'13) zusammengefasst zu *problematische Lehrpläne (wenig altersangemessen, zu allgemein, unstrukturiert, schlechte Abstimmung mit Fachunterricht)*, da zum einen abweichende Zuordnungen zwischen Erst- und Zweitkodierung vorlagen und bei nochmaliger Sichtung des Originalmaterials eine eindeutige Zuordnung häufig nicht möglich war. Die Kategorie *Bedenken bei Unterricht durch fachfremde Lehrer im eigenen Fachraum* (C-R'3) wurde gelöscht. Zum einen bezieht sich diese Kategorie auf zentrale Sicherheitsbestimmungen beispielsweise bei chemischen Experimenten, was sich auch schulorganisatorisch nicht lösen lässt. Zum anderen kann dieser Aspekt als Teil der Kategorie *unzureichende räumliche Ressourcen* (C-R'14) betrachtet werden.

5.4.3 Gütekriterien

Qualitative Forschung muss sich ebenso wie quantitative Datenerhebungen und -analysen durch zugrunde liegende Gütekriterien kennzeichnen. Allerdings wird in qualitativen Ansätzen die Bedeutung der Validität hervorgehoben und durch verschiedene Kriterien ausdifferenziert, wohingegen sich die Objektivität eher auf einen interpersonalen Konsens bezieht. Die Frage, inwieweit eine qualitative Erhebungsmethode reliabel ist, bzw. ob das Konzept der Reliabilität überhaupt auf qualitative Erhebungen anwendbar ist, ist im Spannungsfeld zwischen qualitativer und quantitativer Forschung umstritten (Bortz & Döring,

2003, S. 327).

Mayring selbst gibt für die Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse jedoch vor, wie diese Gütekriterien in seiner Analysemethode berücksichtigt werden. In der vorliegenden Studie wird die Reliabilität daher als InterCoderreliabilität verstanden (Mayring, 2014, S. 111-112). Über den dargestellten Re-Test konnte das in der Erstkodierung abgeleitete Kategoriensystem durch den Zweitkodierer bestätigt werden. Unterschiede in der Kodierung oder Zusatzkategorien, die in der Erstkodierung nicht gefunden wurden, wurden im Anschluss am Originalmaterial diskutiert (siehe vorheriges Kapitel), sodass ein überarbeitetes Kategoriensystem formuliert werden konnte. Diese Form, Nichtreliabilitäten über einen interpretativen Einigungsprozess als Möglichkeit der Weiterentwicklung der Analyse bzw. des Kategoriensystems zu verstehen, ist typisch für die Qualitative Inhaltsanalyse (Mayring, 2014, S. 42). Eine quantifizierte Darstellung der InterCoderreliabilität war in dieser Studie aufgrund häufig ganzer Absätze als Sinneinheit gewählter Kodiereinheit nicht sinnvoll, da hier eine eindeutige Kodierung genau gleicher Textstellen von Erst- und Zweitkodierer sehr unwahrscheinlich ist.

Des Weiteren deckt die InterCoderreliabilitätsprüfung auch die Objektivität der Datenerhebung ab, da hierdurch gewährleistet wird, dass unterschiedliche Forscher mit der gleichen Methode zu ähnlichen Ergebnissen gelangen. Zusätzlich erhöht das stark standardisierte Vorgehen der Qualitativen Inhaltsanalyse und die damit verbundene Transparenz des Vorgehens die Objektivität der Untersuchung. Auch der Interviewleitfaden erhöht die Objektivität, wobei zu erwähnen ist, dass im Sinne einer Durchführungsobjektivität Teilfragen bei verschiedenen Respondenten abweichend formuliert wurden, um sie dem Verständnis des Interviewpartners anzupassen (Bortz & Döring, 2003, S. 326-327).

Hinsichtlich der Validität der vorliegenden Untersuchung lässt sich festhalten, dass die semantische Validität durch den diskursiven Austausch in Bezug auf die Überarbeitung des Kategoriensystems sowie der stete Einbezug des Originalmaterials in die Überarbeitung der Kategorien nach der Zweitkodierung erreicht wurde. Die Stichprobenvalidität ist hier jedoch nicht gegeben, da die befragten elf Lehrkräfte nicht als repräsentativ für alle Thüringer Lehrkräfte bezeichnet werden können. Da sich die Ergebnisse der Interviewstudie jedoch auf die Gestaltung der Fortbildung in einem Wechselspiel aus Konstruktion, Erprobung und Überarbeitung im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion beziehen, kann diese Nichtrepräsentativität akzeptiert werden, da ohnehin in einer Fortbildungssituation unabhängig von theoretisch oder den hier dargestellten inhaltsanalytisch abgeleiteten Qualitätsmerkmalen die individuellen Voraussetzungen und Bedürfnisse der Teilnehmenden berücksichtigt werden müssen. Die besondere Situation fächerübergreifenden Unterrichts in Thüringen durch integrierte Fächer in den Klassenstufen fünf bis zehn

macht eine korrelative Validitätsprüfung schwierig, da es keine vergleichbaren, externen Untersuchungen gibt. Im folgenden Kapitel 5.5 werden aber die theoretischen Bezüge der vorgestellten Untersuchungen über Merkmale wirksamer Fortbildungen aus Kapitel 3 aufgezeigt. Da sich die Ergebnisse in diese theoretischen Grundlagen einbetten (siehe Kapitel 5.5), kann von einer Konstruktvalidität gesprochen werden (Mayring, 2014, S. 110-111).

Die Validität der Datenerhebung wurde durch die ausführliche Verfahrensdokumentation in diesem Kapitel und die eindeutige Rückvollziehbarkeit von Gesprächsdaten aus den Transkripten zu festgelegten Kategorien durch die Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse sichergestellt. Durch das Schaffen eines gleichberechtigten, vertrauensvollen Interviewkontextes durch die Gesprächsführung kann zudem davon ausgegangen werden, dass die befragten Lehrkräfte authentisch antworteten (Niebert & Gropengießer, 2014, S. 123-124). Die dafür notwendigen Fertigkeiten der Interviewführung wurden zuvor durch ein Probeinterview mit einem externen Experten hinsichtlich Interviewführung und fächerübergreifendem Unterricht trainiert sowie im Anschluss der Interviewleitfaden durch diesen Experten als adäquat für die angestrebten Forschungsfragen bewertet.

5.5 Interpretation der Ergebnisse

5.5.1 Interpretation des Kategoriensystems zur Frage nach Merkmalen guten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts

In Tabelle 5.2 sind die Ergebnisse der Befragung zu den Merkmalen guten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts dargestellt. Wie bereits im Kapitel 5.4.2 angedeutet, sind die mit Stern markierten Kategorien nicht explizit kennzeichnend für fächerübergreifenden Unterricht. Im Vergleich mit den Ergebnissen zum Komplex 2 nach den Defiziten beim fächerübergreifenden Unterricht (siehe Tabelle 5.3) wird jedoch deutlich, dass diese als eher allgemeingültigen Merkmale guten Unterrichts bewerteten Kategorien vollständig durch das Kategoriensystem zum Komplex 2 abgedeckt werden (siehe Kategorien 1, 2, 8, 10, 11, 12, 13 und 14 in Tabelle 5.3). Damit können diese allgemeingültigen Kriterien als besondere Gelingensbedingungen für fächerübergreifenden Unterricht unterstrichen werden, da hier besondere Herausforderungen aus Sicht der Lehrkräfte vorhanden sind.

Aber auch die Kategorien 1, 5 und 6 in Komplex 1 finden sich in den Defiziten wieder. Daneben wird die Abstimmung zwischen Fachunterricht und fächerübergreifendem Unterricht (Kategorie 9) und die Abdeckung möglichst vieler Fachdisziplinen durch eine Lehrkraft mit passender Fächerkombination oder Tandemunterricht (Kategorie 7) als kennzeichnend für guten fächerübergreifenden Unterricht angesehen. Die Forderung einer ausreichenden Berufserfahrung (Kategorie 2) hängt vor allem damit zusammen, dass vie-

le Lehrkräfte den Arbeitsaufwand für das Vor- und Nachbereiten von Unterricht in neu eingeführten integrierten Fächern als sehr hoch ansehen (Kategorie 6). Die Kategorie 10 (Einbezug mehrerer Wissenssebenen) kann grundlegend eher als Definition für fächerübergreifenden Unterricht betrachtet werden. Jedoch kann die Nennung dieses Aspektes auch im Sinne einer häufig schlechten Unterrichtsqualität verstanden werden (siehe Kategorie 14 in Tabelle 5.3), wenn integrierte Fächer als reiner, disziplinärer Fachunterricht gestaltet werden, wie die folgenden Aussagen unterstreichen:

„[...] und da muss ich dir ganz ehrlich sagen: Ich will kein Physik. So, da bin ich in der Richtung auch ein bisschen bockig. **Ich habe mir nicht ohne Grund hier Bio und Chemie ausgesucht und war selbst im Studium ganz entsetzt das da noch physikalische Aspekte kamen, die ich aber überlebt habe, gerade so, und ich mag das auch nicht.** Und in dieser Richtung muss ich dir jetzt Recht geben, wenn ich etwas gern mache und mir das Spaß macht dann kann ich das ganz anders als Person und ganz anders überzeugend mit einer gewissen Begeisterung rüberbringen und die Begeisterung, wenn ich die als Lehrer nicht habe, die Begeisterung für mein Fach, mein Beruf für die Inhalte, dann kann ich auch keinen begeistern.“

„Denn bisher ist ja die Tatsache, dass in diesen beiden Fächern [MNT und NWuT] sehr oft ja logisch entweder ein Bio- oder ein Chemie- oder ein Physiklehrer ist [...], der macht im Endeffekt dort seinen Unterricht. Seinen Fachunterricht. [...] und der dann einfach sagt: 'Okay, ich habe eben jetzt nicht nur zwei Stunden Physik sondern eben kann fünf Stunden auf der Strecke irgendwo aktiv werden.' Und viel sind es ja die Bio-Lehrer, die drin sind und da denke ich eben, und da weiß ich auch, ich habe eine Freundin, die macht das an der Regelschule. **Die macht dort Biologieunterricht, nichts anderes als sie früher in der 5 und 6 Biologieunterricht gemacht hat.** Und das ist traurig, weil ja das Potenzial...die Frage ist natürlich es wird ja momentan nicht ausgebildet.“

„[...] und mittlerweile ist es so, dass ich das Fach eigentlich sehr, sehr gerne habe, meine Stärken natürlich bei der Biologie und der Chemie liegen **und die Physik eben ein bisschen flach fällt.** Gut das ist eben so, sie werden es in der siebten Klasse schon wieder rausholen.“

„Aber ansonsten, die, die das [fächerübergreifenden Unterricht] machen, die wissen, dass sie das länger machen, die arbeiten sich ein. Bei uns an der Schule ist es im Moment so, dass sich zwei Kollegen auf die 9. Klasse mit Modulen eingeschossen haben, zwei Kolleginnen auf die 10 und dann wird das passend gewechselt und dann läuft das durch. Die wünschen sich natürlich auch gern physikalische Unterstützung, kommen auch vorbei. **Aber ungefähr so, wie ich [als Physiklehrer] dann biologisch mein Grundwissen einbringen würde, bringen sie [als Nicht-Physiklehrer] ihr Physikwissen ein.**“

Gerade aus der letzten Aussage lässt sich ableiten, dass für die Konstruktion einer Fort-

bildung Hilfestellungen für Grundlagen der jeweiligen Naturwissenschaften mit dem Ziel einer Arbeitserleichterung für engagierte Lehrkräfte bereitgestellt werden müssen.

Tabelle 5.2: Merkmale guten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts.

<i>Merkmale der Lehrkraft:</i>	
1	Zusammenarbeit mehrerer Fachkollegen (über fachliche und fachdidaktische Aspekte, Vorkenntnisse der Schüler, das Anforderungsniveau, Unterrichtsplanung neuer Inhalte)
2	ausreichend Berufserfahrung
3*	adäquates fachdidaktisches Wissen
4*	adäquates Fachwissen
5	positive Einstellung und Begeisterung für fächerübergreifenden Unterricht
6	Bereitschaft zu erhöhtem Arbeitsaufwand
<i>Schulorganisation:</i>	
7	Abdeckung möglichst vieler Fachdisziplinen (Tandemunterricht, Lehrer mit passenden Fachkombinationen)
8*	adäquate Räumlichkeiten mit Laborausstattung und modernen Medien
9	gute Abstimmung zwischen Fachunterricht und fächerübergreifendem Unterricht
<i>Unterrichtsgestaltung:</i>	
10	Einbezug mehrerer Wissenssebenen (Vorwissen, mehrere Fachdisziplinen)
11*	inhaltliche Schwerpunktsetzung
12*	motivierende Inhalte (aktuell, regional, interessenorientiert, alltagsorientiert)
13*	hoher Grad an Schülerselbsttätigkeit
<i>Weitere Aspekte:</i>	
14*	gute Lehrpläne (untereinander abgestimmt, konkret, schülerorientiert)
15*	Lernmaterialien für Lehrer
16*	Lernmaterialien für Schüler
17*	adäquates Unterstützungssystem (Multiplikationssystem neuer Unterrichtskonzepte, Aus- und Fortbildungsstrukturen, zeitliche Freiräume zur Entwicklung neuer Unterrichtskonzepte)

5.5.2 Interpretation des Kategoriensystems zur Frage nach Defiziten beim Unterrichten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts

Die Frage nach den Defiziten von fächerübergreifendem Naturwissenschaftsunterricht (siehe Tabelle 5.3) ergab zwei wesentliche Problemfelder, die sich auf die Merkmale einer

Lehrkraft und die Schulorganisation beziehen. So sehen die Lehrkräfte bei sich selbst Defizite im fachlichen, fachdidaktischen und experimentellen Wissen, wie sie auch bei Fruböse et al. (2011) differenziert wurden (siehe Kapitel 3.3). Diese Kategorien beziehen sich dabei auf die für eine Lehrkraft fachfremden Anteile in einem integrierten Unterricht. Dem einher gehen Unsicherheiten, negative Einstellungen und auch eine mangelnde Arbeitsbereitschaft.

Tabelle 5.3: Defizite bei fächerübergreifendem Naturwissenschaftsunterricht.

<i>Merkmale der Lehrkraft:</i>	
1	mangelndes Fachwissen
2	mangelndes fachdidaktisches Wissen
3	mangelndes experimentelles Wissen
4	Unsicherheit der Lehrpersonen (bei fachfremden Experimenten, bei der Nutzung von Lernmaterialien)
5	negative Einstellung für fächerübergreifenden Unterricht
6	fehlende Arbeitsbereitschaft
<i>Schulorganisation:</i>	
7	unzureichende Zusammenarbeit mehrerer Fachkollegen
8	unzureichende räumliche Ressourcen
9	unzureichende zeitliche Ressourcen
<i>Weitere Aspekte:</i>	
10	unzureichende Lernmaterialien für Schüler
11	unzureichende Lernmaterialien für Lehrer
12	problematische Lehrpläne (wenig altersangemessen, zu allgemein, unstrukturiert, schlechte Abstimmung mit Fachunterricht)
13	unzureichendes Unterstützungssystem (Ausbildung, Fortbildung, zeitliche Entlastung)
14	schlechte Unterrichtsqualität

Zwar lassen sich bezüglich der Kategorien 1 bis 3 in Tabelle 5.3, die Bestandteil des Professionswissens sind (Baumert & Kunter, 2006), keine Korrelationen zu den eher motivationalen Aspekten der Kategorien 4 bis 6 aus dieser Studie ableiten. Es kann aber vermutet werden, dass mit erhöhtem Professionswissen die Unsicherheiten der Lehrpersonen abnehmen und somit nach der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (2008) eine erhöhte fachbezogene Kompetenz für integrierte Fächer auch die Motivation für das Unterrichten dieser Fächer erhöht. Die Kategorien 7, 8, 9 und 13 deuten im Rahmen dieser Theorie dagegen eher auf einen Mangel an sozialer Eingebundenheit hin, da die Lehrkräfte eine fehlende Zusammenarbeit mit Fachkollegen sowie ein unzureichendes Unterstützungs-

system als Defizit beurteilen. Unter Unterstützungssystem sind hierbei Kooperationen von externen Partnern gemeint, beispielsweise durch Fort- und Ausbildung für fächerübergreifenden Unterricht durch das zuständige Ministerium oder Universitäten. Auch die Fragen nach zeitlichen und räumlichen Ressourcen müssen schulorganisatorisch unterstützend durch die Schulleitung sowie in Zusammenarbeit mehrerer Fachbereiche (Chemie, Biologie und Physik) als sozialer Prozess geklärt werden. Neben der sozialen Eingebundenheit ist die dritte Einflussgröße auf die Motivation in der Selbstbestimmungstheorie nach Deci und Ryan die Autonomie. In der Kategorie 12 zeigt sich indirekt, dass die Lehrkräfte keinen Einfluss auf die Lehrplangestaltung integrierter Fächer hatten. Dieser Aspekt stellt jedoch einen zentralen Punkt bezüglich der Akzeptanz neuer Fächer dar, wie in Kapitel 3.2.2 bereits gezeigt wurde (Hargreaves, 1994; Wikeley, 2005). Weiterhin wurde in den Interviews deutlich, dass manche Lehrkräfte trotz mangelnder Bereitschaft für diese Form des Unterrichts verpflichtet werden und somit der Grad an Autonomie grundlegend erniedrigt ist. Dies zeigt sich in Aussagen wie:

„Wie das nun ist, wenn jemand verpflichtet wird, da ein Jahr auszuhelfen, sei mal dahingestellt. Also ich hatte auch schon eine nette Kollegin, die dann ein halbes Jahr in der 10. Klasse Fahrschule gemacht hat. Allerdings weniger, ohne die technisch-naturwissenschaftlichen Inhalte.“

„Und dann kommt aber das Kultus auf die Idee und sagt: 'Jetzt ändern wir den Lehrplan mal wieder.' Und das ist sowas von ärgerlich, dass man denkt, warum hat man den ganzen Aufwand betrieben. Das ist schlimm.“

„[...] und genau so habe ich es auch miterlebt, solange es diese Fächer gibt, dass die Lehrer und Kollegen dastanden und gesagt haben: 'Die müssen doch eine Meise haben, guck dir diesen Plan an. Wo soll das herkommen?' Und diese Tatsache, dass da irgendwelche Fachgruppen sich gebildet hätten, wo dann so ein schulinterner Plan, das ist ein Trugschluss, weil jeder starb im Endeffekt für sich allein und hat ja so nach dem Motto: 'Kopf eingezogen, hoffentlich trifft es mich nicht' [...]“

Für die Konstruktion der Fortbildung spielen vor allem die Kategorien 1 bis 3 sowie die Kategorien 10 und 11, die sich auf unzureichendes Material für Lehrkräfte und Schüler beziehen, eine entscheidende Rolle, da ein externer Anbieter, in dieser Arbeit die Friedrich-Schiller-Universität Jena, keinen Einfluss auf schulorganisatorische Probleme oder die Grundstrukturen der integrierten Fächer hat. Dementsprechend muss die Fortbildung den Lehrkräften neben Unterrichtsmaterialien auch die Möglichkeit eröffnen, ihr eigenes Professionswissen zu erweitern. Je nach den Rahmenbedingungen für die Fortbildung kommen gerade für kürzere Programme den Begleitmaterialien eine tragende Rolle zu, da diese Anteile zur individuellen fachlichen, fachdidaktischen und experimentellen Vertiefung bieten können. Generell können die Ergebnisse aus den Komplexen 1 und 2 im Rahmen von

bestehenden Fortbildungsmodellen von Desimone (2009), Lipowsky (2010) oder Van den Akker (1998, 2003) als Kontextbedingungen betrachtet werden, wie es in Kapitel 5.3 als konzeptionelles Ziel angegeben wurde. So müssen beispielsweise Experimente für eine Fortbildung, die sich auf das Fach MNT bezieht, so konzipiert werden, dass sie auch außerhalb eines Fachraumes durchgeführt werden können (jeweils Kategorie 8 in Komplex 1 und 2).

5.5.3 Interpretation des Kategoriensystems zur Frage nach Anforderungen an eine Fortbildung für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht

Für Komplex 3 wurden insgesamt durch das hier dargestellte Analyseverfahren 26 Kategorien identifiziert, die sich in die Aspekte *Organisation*, *Begleitmaterial*, *inhaltliche Gestaltung* und *methodische Gestaltung* unterteilen lassen (siehe Tabelle 5.4).

Betrachtet man die Kategorien zur inhaltlichen und methodischen Gestaltung, so wird deutlich, dass die Lehrkräfte sich insgesamt eine Fortbildung mit deutlichem Fokus auf naturwissenschaftliche Inhalte wünschen. An unterrichtsmethodischen Umsetzungen der entsprechenden Inhalte finden sich lediglich Experimente (Kategorien 14 und 22), die spezifisch für den Naturwissenschaftsunterricht sind. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem konzeptionellen Rahmen von Desimone (2009) (siehe Kapitel 3.1.1), der für wirksame Fortbildungen einen ausgewiesenen Fachbezug (*content focus*) verlangt. Gerade die Kategorien 13 und 14 implizieren, dass die Fortbildung zwar einen Praxisbezug herstellen muss (Kategorien 12, 14, 15, 18, 20, 22, 25), was sich im Rahmen des *content focus* bei Desimone durch die Fokussierung auf das Schülerlernen manifestiert, jedoch auch durch die Forderung nach fachlichen und fachdidaktischen Hintergründen einen gewissen Theoriebezug verlangt. Allerdings variierten die Aussagen der Lehrkräfte bezüglich des fachlichen Hintergrundes sehr stark hinsichtlich des gewünschten Niveaus, von sehr tiefgründigen Darstellungen auf Hochschulniveau bis hin zum Schülerniveau. Der Aspekt der Fachbezogenheit wird zwar häufig als Merkmal von guten Fortbildungen aufgeführt (Supovitz & Turner, 2000; Banilower et al., 2007), die Frage des Niveaus bleibt jedoch meist ungeklärt. Lediglich Jeanpierre et al. (2005) konnten für Fortbildungen mit Themen der Naturwissenschaftsforschung zeigen, dass für Veränderungen im unterrichtspraktischen Handeln ein tiefgründiger Fachbezug vonnöten ist (siehe Kapitel 3.2.1).

Für die in dieser Arbeit zu konstruierende Fortbildung, die ihren Fokus auf fächerübergreifende Naturwissenschaftsthemen legt, lässt sich ableiten, dass ein geringfügig höheres Niveau als das Schülerniveau eine angemessene Darstellungsweise ist. Dies begründet sich zum einen in dem Problem der fachlichen Unsicherheit der Lehrkräfte durch die fachfremden Anteile im integrierten Unterricht (Komplex 2), zum anderen jedoch auch im Gestal-

Tabelle 5.4: Kategoriensystem für die Frage nach den Anforderungen an eine gelungene Fortbildung.

<i>Organisation:</i>	
1	schulartspezifisch
2	als zertifizierter Weiterbildungskurs mit Abminderungsstunden
3	kurzer Anfahrtsweg
4	Freiwilligkeit der Maßnahme (variiert)
5	Umfang (variiert von eher wenigen, kurzen bis viele, längere Veranstaltungen)
6	öffentlichkeitswirksame Verbreitung des Angebots
<i>Begleitmaterial:</i>	
7	digital und abwandelbar
8	Stoffverteilung/ Grobplanung (Lehrermaterial)
9	Sachanalyse (variiert hinsichtlich fachlichem Niveau) (Lehrermaterial)
10	angezieltes Schülerwissen (Lehrermaterial)
11	fachliche und fachdidaktische Hinweise für Lernmaterialien (Lehrermaterial)
12	Lernmaterialien (inklusive Experimentieranleitungen mit Lösungen) für Schüler (variiert hinsichtlich Fertigungsgrad)
<i>Inhaltliche Gestaltung:</i>	
13	Beschaffung von Arbeits- und Selbststudiumsressourcen
14	Darstellung des fachlichen Hintergrundes (variiert hinsichtlich fachlichem Niveau)
15	Aufzeigen möglicher Experimente
16	Aufzeigen von Umsetzungsideen im Unterricht
17	Aufzeigen des angezielten Schülerwissens
18	Darstellung des fachdidaktischen Hintergrundes
19	Stoffverteilungspläne
20	moderne Themen
<i>Methodische Gestaltung:</i>	
21	Lehrplanbezug
22	kontinuierliche, unterrichtsbegleitende Gestaltung (variiert bis nicht aufeinander aufbauende Veranstaltungen)
23	Erprobung von Experimenten
24	Vortrag mit fachlichem Input
25	kollektive Arbeit
26	Praxisbezug (exemplarisch, inhaltsbezogen)

tungsrahmen des Anbieters der Fortbildung. Wie sich in Kapitel 7 zeigen wird, konnte die Fortbildung nicht in Zusammenarbeit mit den zuständigen ministeriellen Abteilungen

organisiert werden. Dadurch war es beispielsweise nicht möglich, die Fortbildung als zertifizierten Weiterbildungskurs zu gestalten (Kategorie 2). Prinzipiell ist eine Kombination aus tiefgründiger fachlicher Darstellung und dem Verweisen, welche Aspekte am Ende das nötige Schülerniveau definieren (Kategorie 15), möglich. Jedoch lässt sich ohne die Kenntnis einer konkreten Schul-, Klassen- bzw. Unterrichtssituation in einem Fach wie NWuT, das sehr projektartig und zudem als Wahlpflichtfach sehr frei in der inhaltlichen Gestaltung ist, das angestrebte Schülerwissen kaum konkret festlegen. Zuletzt kann festgehalten werden, dass sich die Fortbildung durch eine Verschränkung aus fachlichen und fachdidaktischen Darstellungen charakterisieren muss, jedoch aufgrund des unzureichenden Fachwissens (Kategorie 1 in Komplex 2) die fachliche Darstellung besonders hervorgehoben werden muss, da fachdidaktische Inhalte in Fortbildungen nur dann von den Lehrkräften angenommen werden, wenn die fachlichen Grundlagen vorliegen (Minor et al., 2016).

Weiterhin zeigt sich, dass aus Lehrkräftesicht die Fortbildung aktive Lernphasen (*active learning* bei Desimone) wie Durchführung von Experimenten und kollektive Arbeiten (*collective participation*) beinhalten soll. Jedoch gehen auch bei dem Grad der kollektiven Arbeit die Meinungsspektren auseinander. So wird ein Erfahrungsaustausch unter den Lehrkräften prinzipiell begrüßt, inwieweit dieser jedoch formell oder informell und durch das gemeinsame Erstellen von Unterrichtsmaterialien bzw. dem Vorstellen eigener Materialien zu gestalten ist, bleibt offen. Prinzipiell lässt sich aber aus den Kategorien zur methodischen Gestaltung ableiten, dass auch für diese Fortbildung eine Zweiteilung der Einzelsitzungen aus Vortrag mit fachlichem Fokus und Experimentierphase angebracht ist (Kategorien 22 und 23) und die Experimentierphase eher offen gestaltet sein sollte, sodass hier ein informeller Erfahrungsaustausch (Kategorie 24) stattfindet. Diese Struktur deckt sich damit mit der von Neu und Melle (1998), Pietzner et al. (2004) sowie Schmidt und Neu (2004) im deutschsprachigen Raum vorgeschlagenen Gestaltung wirksamer Fortbildung.

Die Frage nach der inhaltlichen und methodischen Gestaltung muss außerdem auf organisatorische Merkmale der Fortbildung bezogen werden. Hier wünschen sich die Lehrkräfte schulartspezifische Fortbildungen, die als zertifizierter Weiterbildungskurs konzipiert sind und keinen weiten Anfahrtsweg erfordern. Die Frage nach der Freiwilligkeit der Maßnahme ließ sich abschließend nicht klären, da dadurch zwar die Motivation zur Teilnahme erhöht sei, jedoch durch die fehlende Verpflichtung das Angebot weniger wahrgenommen werden könnte. Auch der Umfang wurde sehr unterschiedlich bewertet. Hier reichte das Spektrum von eher wenigen (vier bis fünf) bis über zehn Veranstaltungen pro Schuljahr. Die Verteilung sollte nach Meinung der Lehrkräfte jedoch prinzipiell über ein Schuljahr verteilt und nicht als Block gestaltet werden. Ganztagsveranstaltungen zugunsten halbtägiger Fortbildungen am Nachmittag wurden zwar prinzipiell von den Lehrkräften begrüßt, jedoch unter der Problemstellung von Unterrichtsausfall und einer unzureichenden Freistel-

lungspraxis als kaum umsetzbar bewertet. Aus den oben diskutierten Defiziten bezüglich fächerübergreifenden Unterrichts sowie den Wirksamkeitsuntersuchungen von Fortbildungen (siehe explizit die Modelle von Desimone (2009) und Lipowsky (2010) in Kapitel 3.1) wird deutlich, dass wirksame Fortbildungen mehrtägig und über einen längeren Zeitraum charakterisiert sind. Diese Struktur ist jedoch nur mit Unterstützung der Bildungsbehörde oder Schulämter zu leisten.

Die Begleitmaterialien sollen digital und abwandelbar sein und Stoffverteilungen bzw. Grobplanungen sowie Sachanalysen, das angezielte Schülerwissen, fachliche und fachdidaktische Hinweise und Lernmaterialien für Schülerinnen und Schüler beinhalten. Bezüglich der Sachanalyse ergibt sich das gleiche Meinungsspektrum hinsichtlich des Niveaus wie beim fachlichen Hintergrund in der inhaltlichen Gestaltung der Fortbildung. Außerdem haben sich in Bezug auf die Schülermaterialien einige Lehrkräfte fertige Kopiervorlagen gewünscht, andere Lehrkräfte finden eher modulare Aufbauten geeigneter, die man auf die jeweilige Unterrichtssituation anpassen kann. Die hier gefundenen Kategorien für die Begleitmaterialien decken sich mit den Anforderungen an Materialien bei Ansorge-Grein (2010, S. 37-64) (Kapitel 3.2.3) ab und erlauben eine spezifische Konstruktion für integrierte Themenfelder. Denn mit dem Problemfeld der fachlichen Unsicherheiten der Lehrkräfte muss beispielsweise die Sachanalyse nicht nur die Theorie darstellen, sondern um fachliche Grundlagen der jeweiligen Disziplinen erweitert werden.

5.6 Zwischenbilanz

Als wichtiges Ergebnis ergibt sich aus den dargestellten Anforderungen an die Weiterbildung die Notwendigkeit der organisatorischen Gestaltung als zertifizierter Weiterbildungsstudiengang. Nur auf diese Weise lässt sich eine Fortbildung konstruieren, die die Aspekte *Wissensentwicklung*, *Kooperation der Lehrkräfte* und damit die *Entwicklung eines nachhaltigen Lehrernetzwerkes*, die *Erstellung von Unterrichtsmaterialien* in der Fortbildung sowie die *Thematisierung von Lernschwierigkeiten und Schülervorstellungen* (vgl. Kapitel 3.2.2) berücksichtigt.

Hinsichtlich der **Forschungsfrage F-1** (*Unter welchen Zielangaben soll die Fortbildung konstruiert werden?*), lässt sich ableiten, dass die Fortbildung inhaltlich den Lehrkräften die Möglichkeit eröffnen muss, ihr auf fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht bezogenes Professionswissen (fachlich, fachdidaktisch, experimentell) zu erweitern. Die Interpretation der Ergebnisse hat dabei explizit ergeben, dass die fachliche Ausbildung der Lehrkräfte den höchsten Stellenwert haben muss, jedoch nicht als alleiniges inhaltliches Konstruktionsmerkmal tragbar sein kann. Im Rahmen der aus den Komplexen 1 und 2 abgeleiteten Kontextbedingungen für das Unterrichten fächerübergreifender Naturwissen-

schaften müssen die Fachinhalte auf experimentelle Umsetzungen erweitert werden. Diese Experimente sollten aber explizit so aufbereitet sein, dass sie auch außerhalb von naturwissenschaftlichen Fachräumen durchführbar und durch einfache Beschaffung der notwendigen Geräte und Chemikalien gekennzeichnet sind sowie die Schülerinnen und Schüler zu selbstorganisiertem Arbeiten anregen.

Die **Forschungsfrage F-3** (*Welche Gelingensbedingungen sehen Thüringer Lehrkräfte beim Unterrichten fächerübergreifender Naturwissenschaften?*) lässt sich durch die abgeleiteten Kategorien aus Komplex 1 und 2 klären. Dabei kann bezüglich der Merkmale der Lehrkraft festgehalten werden, dass neben adäquatem Professionswissen bezüglich integrierter Naturwissenschaften auch die Motivation zum Unterricht in diesen Fächern gegeben sein muss. Vor allem aber angemessene Räumlichkeiten und zeitliche Freiräume sowie eine Kooperation im Lehrerkollegium sind elementar. Weiterhin sind angemessene Lernmaterialien für Lehrer und Schüler nötig sowie ein adäquates Unterstützungssystem.

Generell lassen sich aber in Bezug auf **Forschungsfrage F-2** (*Welche inhaltlichen und strukturellen Anforderungen stellen Thüringer Lehrkräfte an die Fortbildung?*) schulorganisatorische Aspekte, wie mangelnde Fachräume und zeitliche Ressourcen sowie unzureichende Absprachen und Zusammenarbeiten der einzelnen Fachbereiche durch die Fortbildung kaum berücksichtigen. Dafür hätte ein für Einzelschulen individuelles Fortbildungskonzept erstellt werden müssen, dass beispielsweise die Kooperationsfähigkeiten in einem Kollegium stärkt. In dieser Form ließen sich auch kollektive Arbeiten stärker formalisieren. So ist die Hemmschwelle von Lehrkräften, eigene Unterrichtsmaterialien als Arbeitsmaterial in eine Fortbildung zu integrieren bei einer schulspezifischen Fortbildung oder bei einer lang anhaltenden Fortbildungsreihe mit festem Teilnehmerkreis wesentlich niedriger.

Für die methodische Gestaltung der Fortbildung wurde jedoch eine Struktur bestehend aus Vortrag und Experimentierphase mit der Möglichkeit des informellen Austausches abgeleitet, die sich durch inhaltliche Schwerpunktsetzungen, Darstellung verschiedener fachlicher Blickwinkel, motivierende Inhalte und einem hohen Grad an Lehrerselbsttätigkeit auszeichnen muss. Auf diese Weise können den Lehrkräften Handlungswerkzeuge im Sinne eines didaktischen Doppeldeckers veranschaulicht werden, da gerade diese Gestaltungselemente als kennzeichnend für die Unterrichtsgestaltung integrierter Fächer bewertet wurde (siehe Ergebnisse zu Komplex 1).

Weiterhin sind die motivationalen Aspekte über die Arbeitsbereitschaft und Einstellung bezüglich fächerübergreifenden Unterrichts zu beachten. So kann bei einer freiwilligen Teilnahme davon ausgegangen werden, dass sich die Lehrkräfte durch eine hohe Arbeitsbereitschaft und eine eher positive Einstellung bezüglich integrierter Naturwissenschaften charakterisieren. Bei einer verpflichtenden Teilnahme muss hinsichtlich der Fortbildungs-

atmosphäre berücksichtigt werden, dass manche Lehrkräfte rein extrinsisch motiviert teilnehmen.

Bezüglich der konkreten Organisation der Fortbildung müssen jedoch Aspekte der Anbindung an das zuständige Ministerium, Vorgaben durch die Einbettung der Fortbildung in das Projekt ProfJL sowie personelle Ressourcen berücksichtigt werden. Diese Aspekte werden in Kapitel 7 diskutiert.

Die Befragung der Lehrkräfte konnte jedoch Kriterien für die inhaltliche Gestaltung der Fortbildung und der zugehörigen Begleitmaterialien festlegen. Zunächst kann festgestellt werden, dass sich die Vorstellungen der Lehrkräfte mit den in Kapitel 2.3 diskutierten Leitlinien fächerübergreifender Naturwissenschaften als kontextorientierter Unterricht decken. So kann abgeleitet werden, dass die Fortbildung im Sinne einer inhaltlichen Schwerpunktsetzung ausgewählte, naturwissenschaftliche Inhaltsfelder thematisiert, die einen starken fächerübergreifenden Bezug haben. Die dazu ausgewählten Themenbereiche werden im Kapitel 6 vorgestellt.

Die Darstellung dieser Themen im Begleitmaterial, das der **Forschungsfrage F-4** (*Welche Anforderungen stellen Thüringer Lehrkräfte an die Begleitmaterialien?*) entspricht, kann weiterhin wie folgt festgelegt werden: Ausgehend von einer theoretischen Darstellung des Themas mit Bezügen zu naturwissenschaftlichen Grundlagen werden Möglichkeiten der unterrichtspraktischen Umsetzung in Form von Stoffverteilungen, Lernstationen und vor allem Experimenten aufgezeigt. Die Lernmaterialien sind dabei so konkret wie möglich zu gestalten. Außerdem müssen diese für die Lehrkraft didaktisch reflektiert werden. Vor allem für fachfremde Inhaltsbereiche sind Alternativversuche, Hinweise für das erfolgreiche Durchführen eines Experimentes, Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und Lehrplanbezüge zu den Fachdisziplinen entscheidend. Im Sinne einer Kontextorientierung müssen diese Themen weiterhin durch historische Aspekte, Basiskonzepte, Alltagsbezüge etc. erweitert werden. Die inhaltliche Entwicklung der Fortbildung sowie des Begleitmaterials orientiert sich dabei streng am Vorgehen der Didaktischen Rekonstruktion. Im folgenden Kapitel wird daher aufgezeigt, wie diese Rekonstruktion für die Fortbildung erfolgt.

Kapitel 6

Fachdidaktische Entwicklungsforschung – die inhaltliche Gestaltung der Fortbildung

6.1 Kurzdarstellung

In Kapitel 4.3 wurde das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Studiendesign dieser Arbeit vorgestellt. In Kapitel 5 wurden die hierfür erhobenen Lehrerperspektiven dargestellt. Neben der strukturellen Konstruktion der Weiterbildung kommt der inhaltlichen Aufbereitung eine besondere Rolle zu, die in Tabelle 5.4 in Kapitel 5.5.3 zusammengefasst sind. Daneben wurden bereits die aus Kapitel 2.3 abgeleiteten und in Kapitel 4.2 dargestellten Konstruktionsleitlinien genannt:

E-1: Kontextorientierung

E-2: Basiskonzepte der Naturwissenschaften

E-3: naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen

E-4: starker experimenteller Fokus

Es zeigt sich, dass ebenso für die Konstruktion der Fortbildung als Ganzes als auch für die inhaltliche Aufbereitung der Fortbildung eine didaktische Rekonstruktion vorzunehmen ist, die in diesem Kapitel dargestellt wird. Dabei wird das Vorgehen zunächst exemplarisch am Themenfeld *Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien* vorgestellt. An-

schließlich werden die weiteren Themenfelder kurz angeschnitten und anhand ausgewählter Beispiele die Einbettung der abgeleiteten Konstruktionsmerkmale aufgezeigt. Die für die Fortbildungsreihe rekonstruierten Themen sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

Tabelle 6.1: Kurzdarstellung der Fortbildungsveranstaltungen.

Nr. Themenfeld		ausgewiesene Leitlinien	Klas- sen- stufe
1	Didaktik der Naturwissenschaften - Basiskonzepte	Basiskonzepte, naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen	alle
2	Bionik - Lernen von der Natur	Kontextorientierung, methodischer Fokus auf Lernzirkel, Modellbildung	5/6 (& 7-10)
3	Arzneimittel	Kontext- und Alltagsorientierung, Struktur-Eigenschafts-Beziehungen, chemische Arbeitsweisen im Labor	9-10
4	Wasser-Boden-Luft	Stoff-Teilchen- bzw. Materie-Konzept, Schülervorstellungen	5/6
5	Regenerative Kraftstoffe	Kontextorientierung, Integration von Naturwissenschaftsdisziplinen und mit weiteren Wissenschaften	9-12
6	Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien	Forschungsorientierung, Struktur-Eigenschafts-Konzept	9-12
7	Abschlussveranstaltung	Wunschthema: Inklusion im naturwissenschaftlichen Unterricht, Waschmittel, Lebensmittelzusatzstoffe	alle

6.2 Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien - Didaktische Rekonstruktion

6.2.1 Relevanz der Thematik

Das Themenfeld der Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien stellt einen typischen Kontext im Rahmen des fächerübergreifenden Unterrichts dar (**E-1: Kontextorientierung**). Das Thema umfasst zahlreiche Materialien wie Graphen, Aktivkohle, Kohlenstofffasern, Industrieruß, Kohlenstoffnanoröhrchen, Fullerene sowie Graphit und Diamant. Kennzeichnend für diese Bandbreite an Kohlenstoffmodifikationen bzw. -materialien ist zum einen der hohe Grad an Alltagsrelevanz, beispielsweise durch die Verwendung von Aktivkohle in Wasserfiltern, Kohletabletten oder Kosmetika oder die Verwendung von Industrieruß in Autoreifen oder als Farbpigment. Mit Aspekten für optisch transparente Elektroden für Solarzellen oder biegsame Lautsprecher aus Graphen und der Einsatz von Kohlenstoffnanoröhrchen in der Medizintechnik ergibt sich bei diesem Kontext eine enorme Zukunftsbedeutung.

Die Herstellung leitfähiger Kunststoffe durch Industrieruß oder kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe, die zunächst chemisch hergestellt und anschließend anhand ihrer physikalischen Eigenschaften zu charakterisieren sind, verdeutlichen exemplarisch einen starken interdisziplinären und forschungsorientierten Bezug (**E-3: naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen**). In diesem Zusammenhang lassen sich jedoch die mannigfaltigen Anwendungsmöglichkeiten der Kohlenstoffnanomaterialien, denen breit gefächerte fachwissenschaftliche Grundlagen zugrunde liegen, durch das Struktur-Eigenschafts-Prinzip strukturieren und damit für den Schulunterricht und in der Lehrerfortbildung zugänglich machen (**E-2: Basiskonzepte der Naturwissenschaften**).

Um das Thema fachlich und methodisch sinnvoll darstellen zu können, wird sich nachfolgend auf die Materialien *Aktivkohle*, *Graphen*, *Industrieruß* und *Kohlenstofffasern* beschränkt. Graphit, Diamant und Fullerene bilden bereits in den aktuellen Lehrplänen einen wichtigen Grundbaustein für die anorganische Kohlenstoffchemie. Aus diesem Grund entfallen diese drei Materialien aus der hier durchgeführten Didaktischen Rekonstruktion, wenngleich sie als Anbindungspunkte im Lehrplan interpretiert werden (TMBWK, 2012; SMK, 2011). Aktivkohle bietet episodenhafte Anknüpfungen an bestehende Lehrpläne, beispielsweise bei Themen wie Wasserqualität oder Arzneimittel, wohingegen sich Industrieruß und Kohlenstofffasern auf das Gebiet der modernen Kunststoffe beziehen können. Letztlich kann aber das gesamte Themenfeld auch als eigenständiges Projekt bearbeitet werden (TMBWK, 2012; TMBJS, 2013). Auf das Material Kohlenstoffnanoröhrchen wurde verzichtet, da sich hier die experimentelle Gestaltung aufgrund hoher Materialkosten

(je nach Art und Qualität 600 Euro bis über 1000 Euro pro Gramm (Merck, 2018)) als problematisch erweist.

Die folgenden Ausführungen zeigen ausgehend von den fachwissenschaftlichen Grundlagen, bei denen sich zum Zwecke der Übersichtlichkeit auf die relevanten physikalisch-chemischen Grundprinzipien beschränkt wurde, auf, nach welchen Kriterien das Themenfeld für den Einsatz in Lehrerfortbildungen umstrukturiert wird (Elementarisierung) und welche weiteren inhaltlichen Anforderungen (Rekonstrukt) sowie experimentelle Umsetzungen (**E-4: starker experimenteller Fokus**) zur Darstellung des Themas herangezogen und entwickelt wurden.

6.2.2 Fachliche Grundlagen

Adsorptionsprozesse an Aktivkohle

Aktivkohle bezeichnet industriell hergestellte, kohlenstoffhaltige Produkte, die durch eine poröse Struktur mit einer Porengröße bis zu einigen Tausend Nanometern und folglich einer großen inneren Oberfläche von $400 \frac{\text{m}^2}{\text{g}}$ bis $2500 \frac{\text{m}^2}{\text{g}}$ (**Brunauer-Emmett-Teller-Werte**) gekennzeichnet sind (Büchner, Schliebs, Winter & Büchel, 1986). Aktivkohlen können nach ihrer Porengröße in Makroporen (Porenradius $> 50 \text{ nm}$), Mesoporen (2 nm bis 50 nm) und Mikroporen ($< 2 \text{ nm}$) unterteilt werden. Die Porosität des Materials bedingt seine Hauptanwendung als Adsorptionsmittel für die Reinigung von Flüssigkeiten und Gasen (Büchner et al., 1986, S. 521–526).

Grundlegend für Adsorptionsprozesse an Aktivkohle sind die Chemi- und Physisorption (nachzulesen beispielsweise bei (Atkins & de Paula, 2013; Wedler & Freund, 2012; Lowell, Shields, Thomas & Thommes, 2004)), wobei sich einige Besonderheiten aufgrund der mikro- und mesoporösen Struktur der Aktivkohle ergeben. Im Unterschied zur Beschreibung von Adsorptionsprozessen an flachen Oberflächen mit dem (12:6)-Lennard-Jones-Potenzial¹ muss für die Adsorption in meso- und mikroporösen Strukturen die veränderte Raumgeometrie berücksichtigt werden.² Wird ein Teilchen in der Nähe einer endlichen

¹Prinzipiell beschreibt das (12:6)-Lennard-Jones-Potenzial nur die Wechselwirkung zwischen zwei Atomen bzw. Molekülen über einen repulsiven (infolge des Pauli-Prinzips) und einen attraktiven (Van-der-Waals-Kräfte) Term. Dabei werden Dipol- und Quadrupol-Wechselwirkungen sowie Polarisierungseffekte vernachlässigt (Rouquerol, Rouquerol & Sing, 1999).

²In der Literatur finden sich verschiedene Modifikationen des Lennard-Jones-Potenzials für die Beschreibung von Physisorptionsprozessen. Eine Zusammenstellung über verschiedene Modellierungen der Adsorption von Xenon an Graphit gibt beispielsweise (H. Schmidt, 2003, S. 24). In den hier dargestellten Berechnungen wird sich auf die Arbeiten von (Everett & Powl, 1976) bezogen.

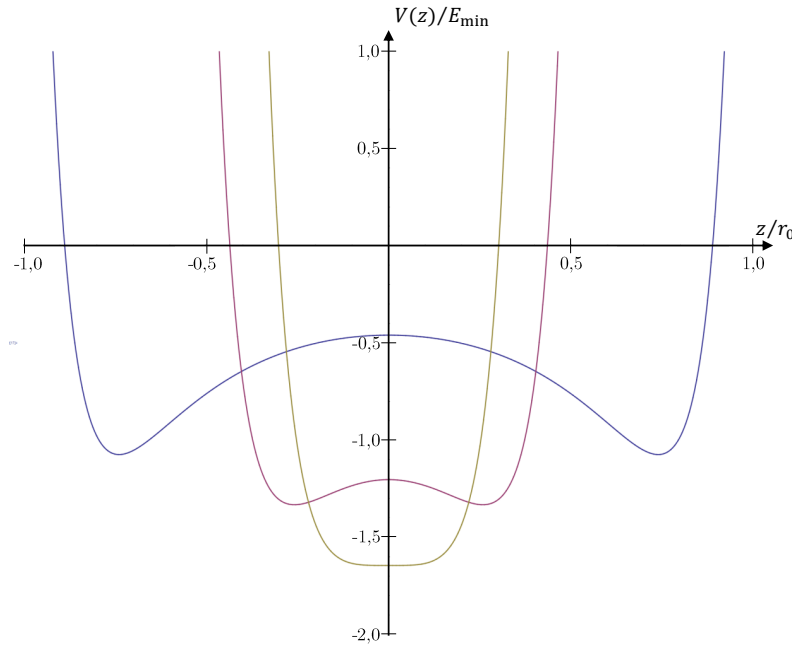
Platte betrachtet, ergibt sich dann für das Potenzial $V(z)$

$$V(z) = \frac{3}{\sqrt{10}} \cdot E_{\min} \left[\frac{2}{15} \left(\frac{r_0}{z} \right)^9 - \left(\frac{r_0}{z} \right)^3 \right] \quad (6.1)$$

mit E_{\min} als Minimum der potenziellen Energie (Potenzialtiefe) und r_0 bei $V(z = r_0) = 0$. Für die Darstellung des Potenzials bei einer Meso- oder Mikropore wird sich das zu adsorbierende Teilchen zwischen zwei Platten mit dem Abstand $2d$ vorgestellt und es ergibt sich

$$V(z) = \frac{3}{\sqrt{10}} \cdot E_{\min} \left[\frac{2}{15} \left\{ \left(\frac{r_0}{d+z} \right)^9 + \left(\frac{r_0}{d-z} \right)^9 \right\} - \left\{ \left(\frac{r_0}{d+z} \right)^3 + \left(\frac{r_0}{d-z} \right)^3 \right\} \right] \quad (6.2)$$

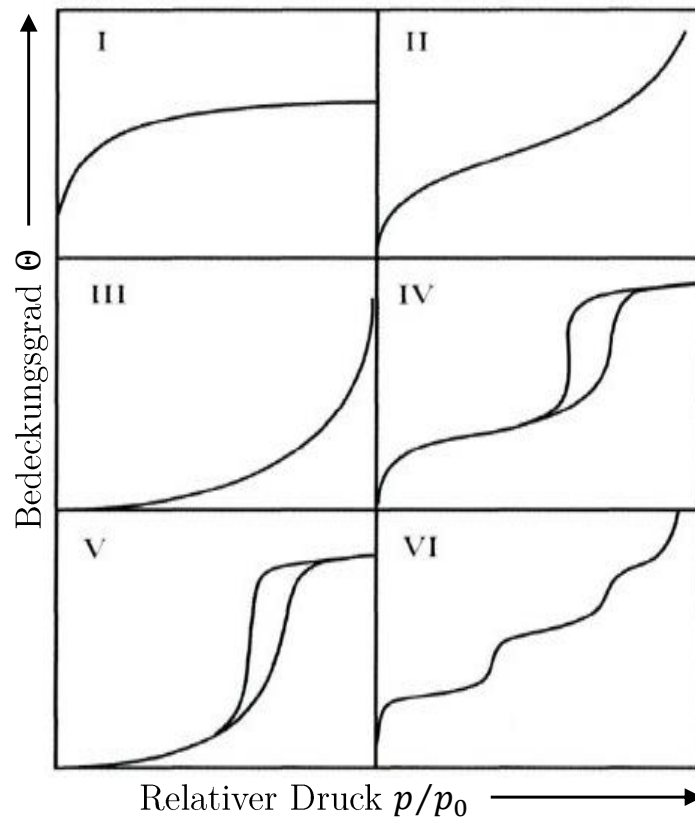
Abbildung 6.1 zeigt den Verlauf von Gleichung 6.2 für verschiedene Abstände der Platten zueinander. Es zeigt sich, dass sich für größere Plattenabstände zwei Minima in der Nähe der Plattenoberflächen ausbilden. Aufgrund der Überlagerung der zwei einzelnen Potenzialkurven ergibt sich jedoch für einen Plattenabstand von $d = 1,14043r_0$ der Übergang von zwei Minima zu einem Minimum in der Plattenmitte. Es wird weiterhin deutlich, dass die Beträge der Minima mit abnehmendem Porenradius zunehmen, die Potenzialdifferenz $V(z = 0) - V(z = r_0)$ abnimmt, wodurch eine erleichterte Desorption der adsorbierten Teilchen erreicht wird. Für eine sphärische Pore konnten Ripmeester und Ratcliffe (1990) sowie H. Schmidt (2003, S. 25) zeigen, dass die Adsorptionsenergie bei gleichem Wandabstand bzw. Porenradius wesentlich größer ist als bei zwei parallelen Platten.



Quelle: in Anlehnung an (Everett & Powl, 1976; H. Schmidt, 2003)

Abbildung 6.1: Verlauf von $\frac{V(z)}{E_{\min}}$ über $\frac{z}{r_0}$ für $d = 1,60r_0$ (blau), $d = 1,14r_0$ (rot) und $d = 1,00r_0$ (gelb).

Die Physisorption ist ein reversibler Prozess, lässt die Bildung von Mehrfachschichten zu und kennzeichnet sich durch eine rasche Einstellung eines Adsorptionsgleichgewichts. Allerdings kann die Aufnahme von Gasen in Aktivkohle nicht durch bloße Adsorptionsprozesse beschrieben werden. Tatsächlich muss der Effekt der Kapillarkondensation berücksichtigt werden, der vor allem bei hohen Sättigungsgraden eine Rolle spielt. Durch die Überlagerung von Adsorbatschichten gegenüberliegender Flächen bildet sich ein konkaver Miniskus der flüssigen Adsorbatschicht. Der Dampfdruck über der gekrümmten Oberfläche ist nach der Kelvin-Gleichung geringer als der Dampfdruck der kompakten Flüssigkeit, weshalb auch bereits unterhalb des Sättigungsdampfdruckes eine Kondensation in die Poren stattfindet. Dieser Effekt trägt letztlich zu der besonders hohen Beladungskapazität von Aktivkohle bei (Kubelka, 1954; Schuchowitzki, 1934).



Quelle: verändert nach (Alothman, 2012)

Abbildung 6.2: Einteilung der Adsorptionsisothermen nach IUPAC.

Zur Beschreibung der Einstellung des Adsorptionsgleichgewichts sind viele Faktoren wie Transportprozesse, Geometrie des Adsorbens, Turbulenzen in wässrigem Medium, Korngröße, Konzentrationsgradienten des Adsorptivs und Porenstruktur (Hydro-Ingeniere, 2012, S. 18–19) sowie die Eigenschaften des Adsorptivs entscheidend. Der Gleichgewichtszustand ist abhängig vom Partialdruck, der Temperatur und dem Bedeckungsgrad. Häufig

wird hierbei die Darstellung über Adsorptionsisothermen gewählt, die den Zusammenhang zwischen adsorbierter Menge auf der Oberfläche des Adsorbens (Bedeckungsgrad) und des Partialdruckes (meist bezogen auf den Normaldruck) bzw. der Konzentration des Adsorptivs bei konstanter Temperatur angibt (Reschetilowski, 2015, S. 56). Nach IUPAC werden sechs Typen von Adsorptionsisothermen unterschieden (siehe Abbildung 6.2), wobei drei davon für die Adsorption an Aktivkohle entscheidend sind.

Die Adsorption an Mikroporen der Aktivkohle wird durch den Typ I beschrieben³. Das ersichtliche Plateau zeigt, dass nur wenige Lagen an adsorbierten Molekülen vorliegen, wobei für die Mikroporen eher das Porenvolumen als die spezifische Oberfläche entscheidend ist (Fang, Makal, Young & Zhou, 2010; Sing, 1985). Weiterhin zeigt sich, dass die Adsorption bereits bei relativ geringen Drücken einen hohen Bedeckungsgrad erreicht, was an dem geringen Porendurchmesser und dem hohen Adsorptionspotenzial liegt. In den Makroporen verläuft die Adsorption vor allem nach Typ II, da es hier zu einer Multischichtenadsorption kommt. Typ IV entspricht der Adsorption in den Mesoporen. Die hier vorliegende Hysterese zwischen Adsorption und Desorption begründet sich in der oben erläuterten Kapillarkondensation (Lowell et al., 2004, S. 12–13).

Graphen – Struktur und Eigenschaft

Graphen bildet die Grundstruktur für viele weitere Kohlenstoffmaterialien wie Graphit, Industrieruß, Kohlenstofffasern und Kohlenstoffnanoröhrchen. Aus diesem Grund wird im Folgenden die Kristallstruktur von Graphen erläutert und aufgezeigt, welche wesentlichen Eigenschaften sich aus der Struktur ableiten lassen.

Die Struktur von Graphen gleicht einem Bienenwabenmuster, bei dem die Kohlenstoffatome sp^2 -hybridisiert vorliegen. Dadurch ergibt sich ein zwei-dimensionales Gitter mit einem Bindungswinkel von 120° (Dato, Radmilovic & Frenklach, 2011)⁴. Abbildung 6.3

³Da die Adsorptionsfläche bzw. das Adsorptionsvolumen von Aktivkohle vor allem durch die mikroporöse Struktur charakterisiert wird, kommt dem Typ I eine besondere Bedeutung zu. Dieser Verlauf der Isotherme wird beispielsweise durch die Langmuir-Adsorptionsisotherme beschrieben. Der Ansatz von Langmuir geht jedoch von einzelnen Adsorbatschichten aus, wohingegen beispielsweise die Theorie von Dubinin bei Mikroporen von einer Volumenfüllung ausgeht (Clarkson, Bustin & Levy, 1997; Saeidi & Parvini, 2016)

⁴Es sei erwähnt, dass hier von einer planaren Struktur von Graphen ausgegangen wird. In der Tat wurden bei Graphenlagen jedoch Falten-, Wellen- und Knitterstrukturen festgestellt. Die Frage nach den Ursachen dieser Strukturen ist jedoch noch nicht abschließend geklärt. Eine Begründungslinie orientiert sich am Mermin-Wagner-Theorem, das für eine planare Graphenstruktur bei $T > 0\text{ K}$ Rotationen vorhersagt, die die Fernordnung des Kristalls zerstören (J. C. Meyer et al., 2007; Mermin & Wagner, 1966; Mermin, 1968). Andere Überlegungen stellen die Gültigkeit dieses Theorems bei Graphen infrage und argumentieren mit kleinen Änderungen der Atomabstände im Graphen (Thompson-Flagg, Moura & Marder, 2009). Letztlich gibt es zahlreiche Mechanismen, wie thermische Schwingungen, interatomare Wechselwir-

zeigt die Kristallstruktur von Graphen. Der Translationsvektor ergibt sich mit den zugehörigen Gittervektoren \vec{a}_1 und \vec{a}_2 zu

$$\vec{T} = \begin{pmatrix} \sqrt{3} \\ 1 \end{pmatrix} \frac{a}{2} \cdot n_1 + \begin{pmatrix} \sqrt{3} \\ -1 \end{pmatrix} \frac{a}{2} \cdot n_2 \quad (6.3)$$

mit $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$, $n_1, n_2 \in \mathbb{Z}$ und $\angle(\vec{a}_1, \vec{a}_2) = 60^\circ$. Die Kristallstruktur wird damit durch ein hexagonales Gitter mit zweiatomiger Basis bei $(\frac{\sqrt{3}}{2}a, \frac{1}{2}a) + (\frac{\sqrt{3}}{2}a, -\frac{1}{2}a)$ beschrieben. Auf diese Weise ergeben sich zwei gegeneinander verschobene Untergitter A und B .

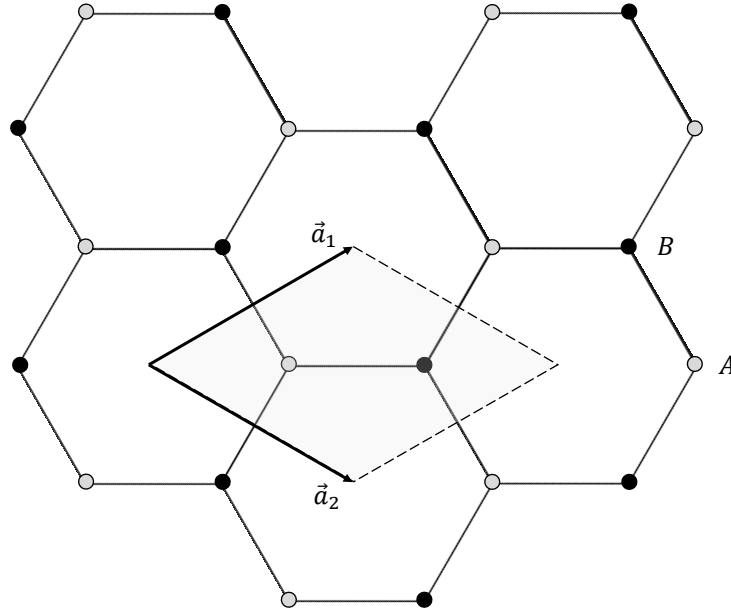


Abbildung 6.3: Gitterstruktur von Graphen mit den zugehörigen Gittervektoren \vec{a}_1 und \vec{a}_2 . Die primitive Einheitszelle ist hervorgehoben und beinhaltet die zweiatomige Basis aus je einem Atom der Untergitter A und B .

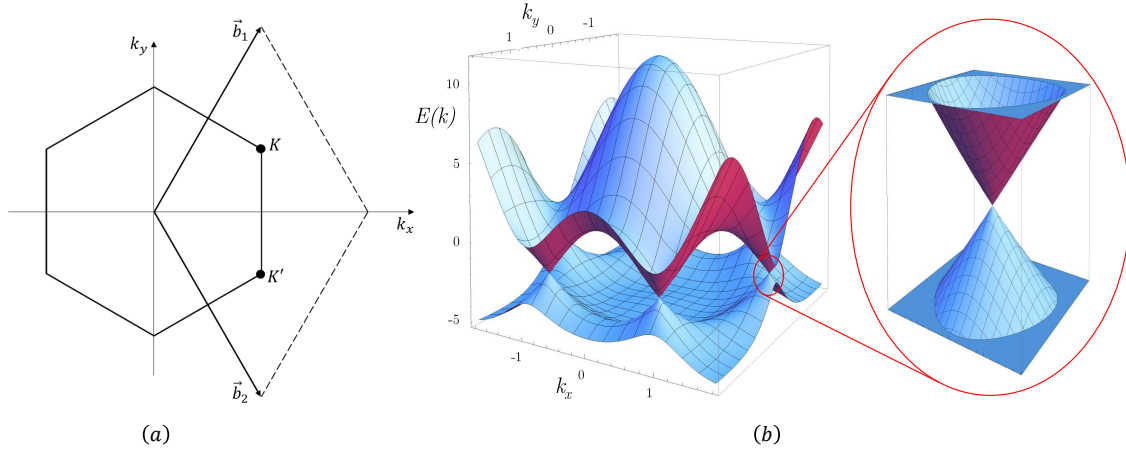
Zahlreiche Festkörpereigenschaften können durch den Übergang vom Translationsgitter zum reziproken Gitter abgeleitet werden, das den Kristall im \vec{k} -Raum darstellt. Das reziproke Gitter hat für Graphen ebenfalls eine hexagonale Struktur mit dem reziproken Gittervektor

$$\vec{g}_{hk} = h\vec{b}_1 + k\vec{b}_2 = \frac{2\pi}{\sqrt{3}a} \begin{pmatrix} 1 \\ \sqrt{3} \end{pmatrix} \cdot h + \frac{2\pi}{\sqrt{3}a} \begin{pmatrix} 1 \\ -\sqrt{3} \end{pmatrix} \cdot k \quad (6.4)$$

mit $\vec{a}_1 \perp \vec{b}_2$, $\vec{a}_2 \perp \vec{b}_1$, $h, k \in \mathbb{Z}$ und $\angle(\vec{b}_1, \vec{b}_2) = 120^\circ$. Typischerweise wird für die Elementarzelle eines reziproken Gitters nicht das durch die reziproken Basisvektoren \vec{b}_1 und

kungen, thermische Expansionen, Randinstabilitäten u. v. m., deren jeweiliger Einfluss aber auch von der Art der Herstellung des Graphens abhängt (Ishigami, Chen, Cullen, Fuhrer & Williams, 2007). Die jeweiligen Einflussgrößen auf die Struktur des Graphens bedingen wiederum unterschiedliche Eigenschaften und sind Bestandteil aktueller Forschungen (Deng & Berry, 2016).

\vec{b}_2 aufgespannte Parallelepiped gewählt, sondern die *erste Brillouinzone*. Diese stellt eine spezielle, eindeutige Wahl der primitiven Einheitszelle dar und zeichnet sich dadurch aus, dass jeder Punkt in der ersten Brillouinzone dem ausgewählten Gitterpunkt näher ist, als allen anderen Gitterpunkten. Zur Konstruktion der ersten Brillouinzone werden die Mittelsenkrechten aller Verbindungslinien eines Gitterpunktes zu seinen benachbarten Gitterpunkten aufgestellt. Der Raum (bzw. in 2D die Fläche), die von diesen Mittelsenkrechten eingeschlossen wird, ist die erste Brillouinzone. In Abbildung 6.4 ist diese für die Graphenstruktur dargestellt. Viele Festkörpereigenschaften können ausschließlich durch das Verhalten innerhalb der ersten Brillouinzone beschrieben werden, aufgrund dessen der ersten Brillouinzone eine besondere Bedeutung zukommt. Ein Beispiel ist die Frage nach der elektrischen Leitfähigkeit von Graphen.



Quelle: nach (Neto, Guinea, Peres, Novoselov & Geim, 2009)

Abbildung 6.4: (a) Struktur des reziproken Gitters von Graphen mit den reziproken Gittervektoren \vec{b}_1 und \vec{b}_2 , den besonderen Punkten K und K' sowie der ersten Brillouinzone. (b) Dispersionsrelation von Graphen nach dem Tight-Binding Modell $t = 2,7 \text{ eV}$ und $t' = -0,2t$.

Um die elektronischen Eigenschaften von Graphen zu berechnen, sind prinzipiell mehrere Zugänge möglich, wobei sich das Tight-Binding-Modell in der Literatur durchgesetzt hat (Trauzettel, 2007; Neto et al., 2009; Munárriz Arrieta, 2013; Korte, 2014). Grundlage des Modells ist die Betrachtung der Elektronenbewegung zum nächsten und übernächsten Untergitter. Hierfür müssen lediglich die π -Elektronen betrachtet werden, da die kovalent gebundenen Elektronen ein vollgefülltes Valenzband bilden und somit für die Beurteilung der elektrischen Leitfähigkeit vernachlässigt werden können. Die Wellenfunktionen der Elektronen werden hierbei nach der LCAO-Methode als Linearkombination von Atomorbitalen dargestellt, da die π -Elektronen im Graphen nur schwach gebunden sind. Weitere Grundlage für die Berechnung der Energieeigenwerte ist der Ansatz einer Bloch-Funktion

als Lösung der stationären Schrödingergleichung, der sich in der Periodizität des Gitters begründet. Es wird hierfür angenommen, dass das Gitter unendlich ausgedehnt und störungsfrei ist. Für die ausführliche Lösung der Schrödingergleichung für Graphen nach dem Tight-Bindung-Modell sei auf Munárriz Arrieta (2013, S. 11–16), Neto et al. (2009) sowie Bena und Montambaux (2009) verwiesen.

Die Lösung der Energieeigenwertgleichung führt letztendlich zur Dispersionsrelation

$$E(\vec{k}) = \pm t \sqrt{3 + f(\vec{k})} - t' f(\vec{k}) \quad \text{mit} \quad (6.5)$$

$$f(\vec{k}) = 2 \cos(\sqrt{3} k_y a_0) + 4 \cos\left(\frac{\sqrt{3}}{2} k_y a_0\right) \cos\left(\frac{3}{2} k_x a_0\right). \quad (6.6)$$

Darin sind a_0 der Abstand zweier benachbarter Atome im Graphen mit $a_0 = \frac{a}{\sqrt{3}} \approx 1,42 \text{ \AA}$, t die Hopping-Energie eines Elektrons zum nächsten Nachbaratom (Hüpfen zwischen zwei Untergittern, z. B. von A auf B) und t' die Hoppingenergie zum übernächsten Nachbaratom (Hüpfen im gleichen Untergitter, z. B. von A auf A). Trägt man nun $E(\vec{k})$ über k_x und k_y auf, so ergibt sich mit $t = 2,7 \text{ eV}$ und $t' = -0,2t$ die in Abbildung 6.4 dargestellte Dispersionsrelation (Neto et al., 2009).

Die Gleichungen 6.5 und 6.6 ergeben für ein positives Vorzeichen das entsprechende Leitungsband bzw. den antibindenden π^* -Zustand und für negative Vorzeichen das Valenzband bzw. den bindenden π -Zustand. Auffallend ist, dass an ausgewiesenen Punkten Valenz- und Leitungsband Schnittpunkte aufweisen. Diese Schnittpunkte liegen für die von \vec{b}_1 und \vec{b}_2 aufgespannte Einheitszelle bei

$$K\left(\frac{2\pi}{3a_0}, \frac{2\pi}{3\sqrt{3}a_0}\right) \quad \text{und} \quad K'\left(\frac{2\pi}{3a_0}, -\frac{2\pi}{3\sqrt{3}a_0}\right) \quad (6.7)$$

und fallen damit mit den Eckpunkten der ersten Brillouinzone (vgl. Abbildung 6.4) zusammen. Somit besitzt die Bandstruktur von Graphen in weiten Teilen eine Bandlücke zwischen Valenz- und Leitungsband, lediglich an den Eckpunkten der ersten Brillouinzone berühren sich diese. Graphen kann deshalb an diesen Eckpunkten als Halbleiter ohne Bandlücke bezeichnet werden, da das Valenzband durch die beiden Valenzelektronen der p_z -Orbitale hier voll besetzt ist und die Fermi-Energie gerade $E(\vec{k})$ bei K und K' entspricht (Korte, 2014, S. 20).

Die Forschung über die Struktur von Graphen ist jedoch noch nicht abgeschlossen. So wurde beispielsweise angenommen, dass sich die Dispersionsrelation an den Ecken der ersten Brillouinzone linearisieren lässt⁵ (siehe rote Umrandung in Abbildung 6.4). Es konnte so beispielsweise abgeleitet werden, dass sich die Elektronen in der Nähe des Fermi-Niveaus wie masselose Neutrinos verhalten, d. h. wie masselose ultrarelativistische

⁵Für freie Elektronen im periodischen Potenzial ergibt sich eine parabolische Dispersionsrelation.

Fermionen (Trauzettel, 2007; Neto et al., 2009; Korte, 2014). Diese werden als Dirac-Fermionen bezeichnet, was dem Verlauf der Dispersionsrelation bei den Eckpunkten der ersten Brillouinzone die Bezeichnung Dirac-Kegel verlieh. Die linearisierte Dispersionsrelation erhält dabei die Form

$$E(k) = \pm \hbar v_F \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (6.8)$$

mit v_F der Fermigeschwindigkeit, die für die Elektronen in Graphen hier bei ca. $10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ liegt. Neuere Studien zeigen jedoch, dass die Geschwindigkeit der Elektronen an den Dirac-Punkten bei $3 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ liegt, was nur durch einen nichtlinearen Verlauf der Dispersionsrelation an den Dirac-Punkten erklärt werden kann, der aus Elektron-Elektron-Wechselwirkungen resultiert. Das Tight-Bindung-Modell muss demnach für die Beschreibung der Dirac-Kegel durch die Renormierungsgruppentheorie ersetzt werden (D. C. Elias et al., 2011).

Auch wenn, wie oben dargestellt, die Frage nach der Struktur von Graphen noch nicht endgültig geklärt ist, lassen sich aus der hier als planar dargestellten Kristallstruktur des Graphens neben der elektrischen Leitfähigkeit weitere Eigenschaften ableiten. So besitzt Graphen aufgrund der starken kovalenten σ -Bindungen eine hohe mechanische Stabilität mit einem Elastizitätsmodul von 1 TPa und einer Zugfestigkeit von 130 GPa und ist damit das härteste bisher getestete Material (Lee, Wei, Kysar & Hone, 2008). Das delokalisierte π -Elektronensystem führt dagegen zu der bereits erläuterten, hohen elektrischen Leitfähigkeit von ca. $10^4 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ und einer sehr hohen Wärmeleitfähigkeit von ca. $3000 \text{ Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$. Auch zeigt Graphen den Quanten-Hall-Effekt bereits bei Raumtemperatur (Allen, Tung & Kaner, 2010).

Diese und bei Allen et al. (2010) dargestellten weiteren Eigenschaften machen Graphen zu einem interessanten Produkt für verschiedenste Anwendungen, z. B. als hochempfindliche Biosensoren, als optisch transparente Elektroden in Solarzellen oder Touchscreens oder für den Einsatz in Kondensatoren zur Energiespeicherung (Eigler & Hirsch, 2014). Da es bisher jedoch noch nicht gelungen ist, Graphen großtechnisch herzustellen, befinden sich viele der möglichen Anwendungen noch im Entwicklungsstadium⁶.

⁶Für die erstmalige Herstellung durch mechanisches Exfolieren und Untersuchung grundlegender Eigenschaften von Graphen erhielten Novoselov und Geim 2010 den Nobelpreis für Physik (Recher & Trauzettel, 2010). Mittlerweile wurden weitere Verfahren entwickelt, beispielsweise durch Reduktion von Graphenoxid, durch Exfolieren in flüssiger Phase oder elektrochemisch, durch Gasabscheidungen oder epitaktisches Wachstum auf Siliziumcarbid (für genauere Ausführungen siehe (Phiri, Gane & Maloney, 2017; Zurutuza & Marinelli, 2014; Balasubramanian & Burghard, 2011)). Banszerus, Schmitz, Engelsand et al. (2015) konnten über die chemische Gasabscheidung von Methan auf eine geheizte Kupfer-Oberfläche mittlerweile ein Verfahren zur Graphenherstellung entwickeln, das sich in einen großtechnischen Maßstab übersetzen lässt.

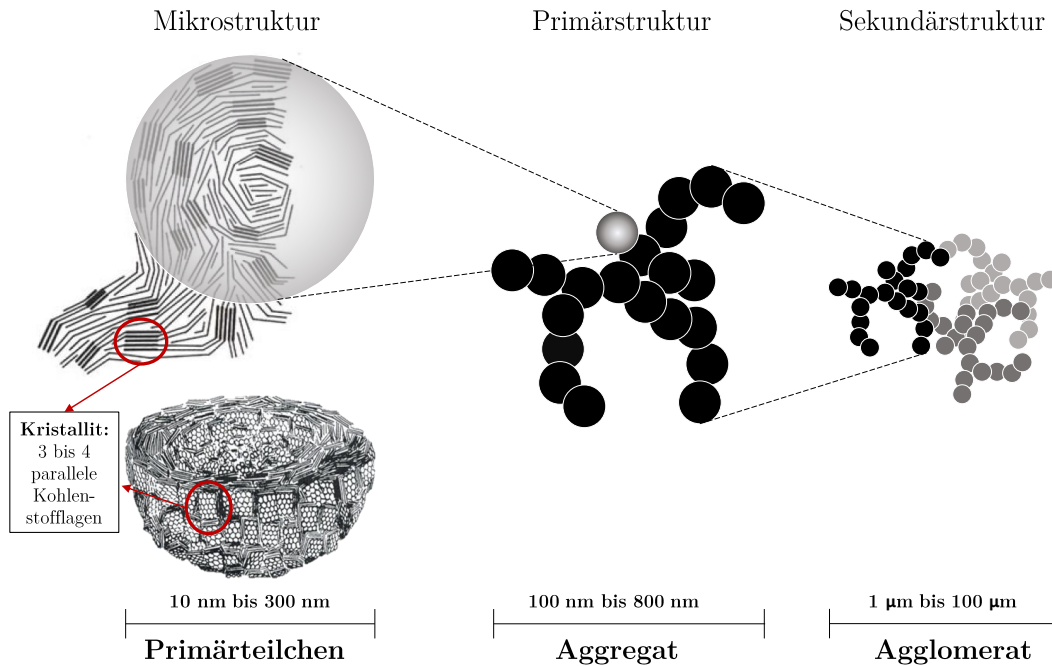
Die Leitfähigkeit von Industrieruß

Industrieruße stellen insgesamt die ältesten synthetisch hergestellten Kohlenstoffmodifikationen (Büchner et al., 1986, S. 510) dar und bestehen bis zu 99 % aus Kohlenstoff mit weiteren Anteilen an Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel (Grotekaes, 2005). Industrieruß definiert sich im Gegensatz zu herkömmlichem Ruß als Nebenprodukt von unkontrollierten, unvollständigen Verbrennungen durch eine definierte Zusammensetzung mit definierten Eigenschaften (IUPAC, 2014, S.206), die sich durch die Herstellungsart und die verwendeten Rohstoffe bestimmen lassen⁷.

Der grundsätzliche Aufbau (siehe dazu (Wu, 2017, S. 14–19), (Taufertshöfer, 2014, S.12–13), (H. Schmidt, 2003, S. 10–13) und (Röthemeyer & Sommer, 2013, S. 280–284)) der Industrieruße unterteilt sich in eine Mikro-, Primär- und Sekundärstruktur. Die Mikrostruktur definiert die Primärteilchen, die aus z. T. verzerrten Graphitschichten bestehen, die sich konzentrisch um ein Wachstumszentrum anordnen und einen Durchmesser von 10 nm bis 300 nm aufweisen (siehe Abbildung 6.5) (Büchner et al., 1986, S. 510). Damit leitet sich die Struktur von Industrieruß von der des Graphens ab, was sich auch in den elektrischen Eigenschaften äußert (s. u.). Die Primärteilchen enthalten sowohl amorphe als auch kristalline Gebiete. Die kristallinen Bereiche, auch Basalstruktureinheiten, sind sphärisch, parallel zur Oberfläche angeordnet und bestehen aus drei bis vier Kohlenstofflagen mit einem Gitterabstand von 0,35 nm bis 0,41 nm (bei Furnace-Rußen), einem mittleren Durchmesser von 1,5 nm bis 2,0 nm und einer Schichtdicke von 1,1 nm bis 1,5 nm. Über Van-der-Waals-Kräfte bilden die Primärteilchen Aggregate mit einer Größe von 100 nm bis 800 nm (Primärstruktur). Grundsätzlich bilden sich aus kleinen Primärteilchen Aggregate mit einem hohen Verzweigungsgrad, größere Primärteilchen bilden eher lineare Aggregate. Die Sekundärstruktur beschreibt die Zusammenlagerung von Aggregaten und weiteren Primärteilchen zu Agglomeraten, die eine Größe von 1 µm bis 100 µm umfassen. Zuletzt unterscheiden sich die verschiedenen Industrieruße auch durch ihre Oberflächenstruktur, die je nach Herstellungsverfahren beispielsweise Hydroxyl-, Carboxyl-, Phenol- und Lactolgruppen enthält (Grotekaes, 2005).

Das wichtigste Anwendungsgebiet für Industrieruße ist der Einsatz als Füllstoff in der Kautschukindustrie, wobei hier zwischen inaktiven, semiaktiven und aktiven Industrierußfüllstoffen unterschieden wird (Bertau, Müller, Fröhlich & Katzberg, 2013, S. 648–649). Inaktive Industrieruße zeichnen sich durch eine mittlere Teilchengröße von 101 nm bis 500 nm und eine geringe BET-Oberfläche ($20 \frac{\text{m}^2}{\text{g}}$) aus und dienen der Verdünnung der Polymermatrix für den Einsatz von wenig mechanischen beanspruchten Gegenständen

⁷Für die verschiedenen Herstellungsmechanismen siehe (Röthemeyer & Sommer, 2013, S. 259–294), (Büchner et al., 1986, S. 510–515), (Taufertshöfer, 2014, S. 11–12) und (H. Schmidt, 2003, 7–10).



Quelle: verändert nach (Taufertshöfer, 2014, S. 13) und entnommen aus (Heidenreich, Hess & Ban, 1968; Koberstein, Lakatos & Voll, 1971)

Abbildung 6.5: Struktur von Industrieruß.

wie Dichtungen oder Handschuhen (Bertau et al., 2013, S. 649) (Büchner et al., 1986, S. 519) (Röthemeyer & Sommer, 2013, S. 261). Aktive Industrieruße haben eine mittlere Teilchengröße von 11 nm bis 30 nm, eine BET-Oberfläche von $70 \frac{\text{m}^2}{\text{g}}$ bis $155 \frac{\text{m}^2}{\text{g}}$ und werden zur den Polymer verstärkenden Wirkung eingesetzt, indem sie als Füllstoffe die Viskosität erhöhen sowie Reißfestigkeit und Abrieb verbessern. Prinzipiell beruhen diese Wirkungen auf Van-der-Waals-Kräften, mechanischen Verknüpfungen, chemischer Vernetzung und Chemisorption zwischen Polymer und Füllstoff, sodass es zur Ausbildung eines festen Netzwerkes kommt (Büchner et al., 1986, S. 518) (Röthemeyer & Sommer, 2013, S. 261) (Wampler, Nikiel & Evans, 2016) (H.-G. Elias, 2003, S. 258). Die semiaktiven Füllstoffe, die eine Mischung aus inaktiven und aktiven Industrierußen darstellen, werden häufig in der Reifenindustrie für Reifenseitenteile oder Karkassen eingesetzt, da sich die entsprechenden Werkstoffe durch eine hohe mechanische Belastbarkeit und Elastizität auszeichnen. Für Reifenauflegeflächen treten die Aktivruße zugunsten von Silica/ Silan-Systemen immer mehr in den Hintergrund, da sie einen relativ großen Rollwiderstand hervorrufen (Bertau et al., 2013, S. 649). Industrieruß kann zudem als Füllstoff für elektrisch leitfähige Kunststoffe eingesetzt werden, da aus der graphitartigen Struktur eine hohe elektrische Leitfähigkeit folgt. Eingesetzt werden diese in Anwendungen, bei denen eine elektrostatische Aufladung vermieden werden soll, z. B. bei Rohrleitungen für explosionsfähige Chemikalien oder für elektrisch leitende Verpackungen, Folien, Platten und Halbleiterkabel (Knöß, 2009; Cabot, o. J.).

Die elektrische Leitfähigkeit von leitfähig gefüllten Kunststoffen⁸ lässt sich mit der Perkolationstheorie (siehe z. B. (Staffer & Aharony, 1994)) beschreiben, die bei allen heterogenen Mehrkomponentensystemen Anwendung findet. Die Vorstellung ist, dass ab einem kritischen Volumenverhältnis aus Polymermatrix und Füllstoff die Füllstoffe in direktem Kontakt zueinander stehen und ein Cluster bilden. So ist erst ab einer kritischen Menge f_c an Industrieruß als Füllstoff in einem Kunststoff ein sprunghafter Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit zu verzeichnen, nämlich gerade dann, wenn die Menge an Industrieruß ausreicht, um leitfähige Pfade im Kunststoff zu bilden. Unter der Annahme, dass eine Matrix der Dimension d mit geringer elektrischer Leitfähigkeit σ_2 (z. B. ein Kunststoff) mit einem Füllstoff von hoher elektrischer Leitfähigkeit σ_1 gefüllt wird, kann die elektrische Leitfähigkeit des gesamten Systems σ_c in der Nähe der Perkolationsschwelle wie folgt beschrieben werden (Nan, Shen & Ma, 2010):

$$\sigma_c \propto \sigma_1 (f - f_c)^t \quad (6.9)$$

$$\sigma_c \propto \sigma_2 (f_c - f)^{-s} \quad (6.10)$$

$$\sigma_c \propto \sigma_2^u \sigma_1^{1-u} \quad (6.11)$$

mit

$$6.9 \quad \text{für } f > f_c \quad \text{mit } 1,1 \leq t \leq 1,3 \quad \text{für } d = 2 \quad \text{und } 1,6 \leq t \leq 2,0 \quad \text{für } d = 3$$

$$6.10 \quad \text{für } f < f_c \quad \text{mit } 1,1 \leq s \leq 1,3 \quad \text{für } d = 2 \quad \text{und } 0,7 \leq s \leq 1,0 \quad \text{für } d = 3$$

$$6.11 \quad \text{für } |f - f_c| \rightarrow 0 \quad \text{mit } u = \frac{t}{t + s}$$

Die Exponenten t und s werden kritische Exponenten genannt und sind für festgelegte Eigenschaften (elektrische oder thermische Leitfähigkeit, Permittivität etc.) universelle Konstanten und hängen lediglich von der räumlichen Dimension des Verbundstoffes ab. Abbildung 6.6 zeigt den Verlauf der Perkulationskurve nach dem eben beschriebenen Modell. Die Abbildung verdeutlicht nochmals die Ausbildung von drei Bereichen: den unterperkolierten Bereich für $f < f_c$, den kritischen Bereich für $|f - f_c| \rightarrow 0$ und den überperkolierten Bereich für $f > f_c$. Im unterperkolierten Bereich ist die Konzentration des Füllstoffes so gering, dass die Leitfähigkeit des Verbundes maßgeblich von der Leitfähigkeit des Kunststoffes bestimmt wird. Im kritischen Bereich kommt es dann zu der erwähnten Ausbildung leitfähiger Pfade. Im überperkolierten Bereich gibt es bereits viele dieser leitfähigen Pfade, wodurch eine weitere Zugabe an Füllstoff keinen maßgeblichen Einfluss mehr auf die elektrische Leitfähigkeit des Verbundes hat, sodass die elektrische Leitfähigkeit hier maßgeblich von der des Füllstoffes bestimmt wird (Taufertshöfer, 2014, S. 15) (Nan et al., 2010).

⁸Elektrisch leitende Kunststoffe lassen sich in drei Gruppen einteilen: intrinsisch leitfähige (Polyacetylen, Polystyrol), leitfähig beschichtete und leitfähig gefüllte Polymere.

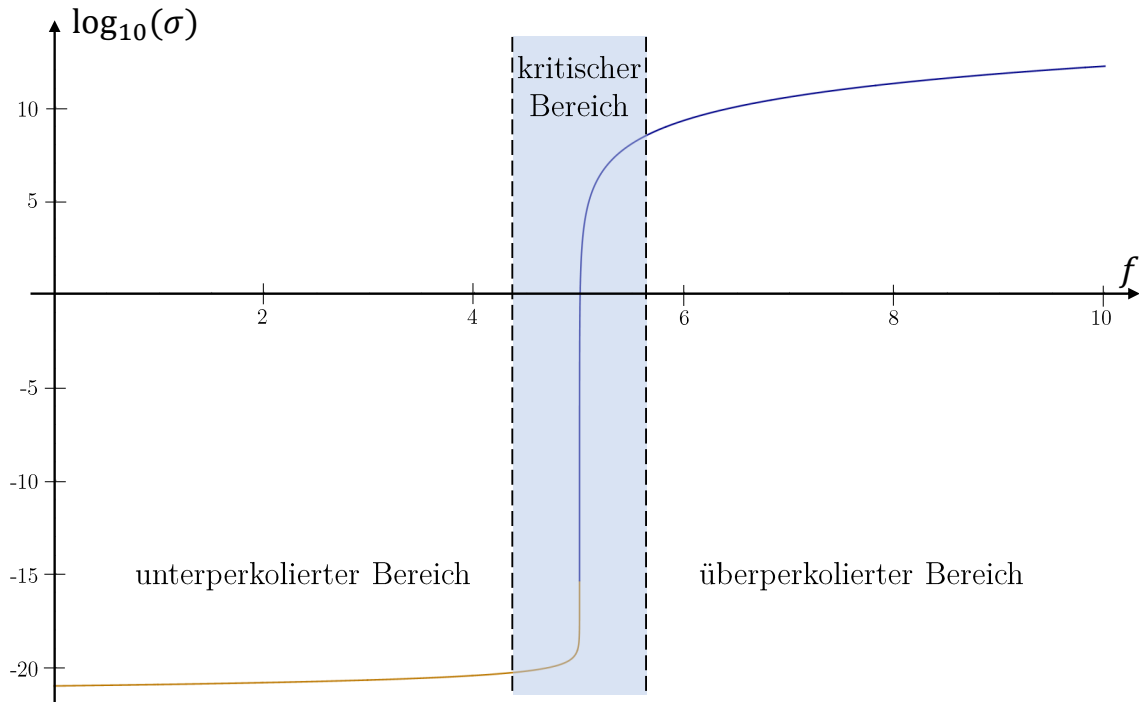


Abbildung 6.6: Perkolationskurve nach Gleichung 6.9 und 6.10 mit $\sigma_1 = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{S}}{\text{m}}$, $\sigma_2 = 10^{-21} \frac{\text{S}}{\text{m}}$, $t = 1,8$, $s = 0,8$ und $f_c = 5$. Die Proportionalitätskonstanten für Gleichung 6.9 und 6.10 wurden so gewählt, dass bei $f = 0$ $\sigma_c = \sigma_2$ und für $f = 10$ $\sigma_c = \sigma_1$ gilt. Der orangefarbene Graph zeigt den Verlauf von σ_c für $f < f_c$, der blaue Graph den für $f > f_c$. Am kritischen Punkt bei $f = f_c = 5$ haben beide Graphen eine Definitionslücke.

Allerdings gibt es neben dem Ansatz über eine enge räumliche Verbindung zwischen den Füllstoffteilchen noch andere Mechanismen, die beispielsweise auf die Leitfähigkeit eines leitfähig gefüllten Kunststoffes Einfluss haben. So spielt gerade für Industrieruß der Tunneleffekt von Elektronen von einem Nachbar zum nächsten eine entscheidende Rolle (Nan et al., 2010; Vionnet-Menot, Grimaldi, Maeder, Ryser & Straessler, 2005). Die einzelnen Teilchen sind dann elektrisch über den Tunneleffekt miteinander verbunden, auch wenn noch keine geometrische Verbindung vorliegt. Dieser Effekt führt dazu, dass die kritische Füllmenge f_c bereits bei geringeren Mengen an Industrieruß als Füllstoff erreicht wird, was sich auch in den kritischen Exponenten wie t widerspiegelt, für den im Falle von Industrieruß der Wert $t = 6,4$ gefunden wurde (Rubin, Sunshine, Heaney, Bloom & Balberg, 1999).

In der praktischen Umsetzung spielen jedoch noch weitere Eigenschaften für die Herstellung eines leitfähig gefüllten Kunststoffes eine Rolle. So hat eine zu hohe Konzentration an Füllstoff auch einen negativen Einfluss auf die Flexibilität des Verbundstoffes, sodass vor allem Industrierüße mit hoher elektrischer Leitfähigkeit gewählt werden, um eine möglichst

geringe Füllstoffmenge zu nutzen (Kaiser, 2008, S. 71–72). Die Leitfähigkeit von Industrie-Ruß, die aus dem π -Elektronensystem der Basalstrukturen resultiert, hängt maßgeblich von der Struktur der Partikel, deren Größe, der spezifischen Oberfläche sowie der Oberflächenchemie ab (Taufertshöfer, 2014, S. 14). Kleine Primärteilchen, eine ausgedehnte Aggregatstruktur und eine hohe Porosität (große spezifische Oberfläche) führen aufgrund eines erhöhten Elektronentransports durch eine große Kontaktfläche der Partikel untereinander zu einer größeren elektrischen Leitfähigkeit. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass sauerstoffhaltige Oberflächengruppen isolierend wirken und somit den Übergangswiderstand erhöhen (Kaiser, 2008, S. 71).

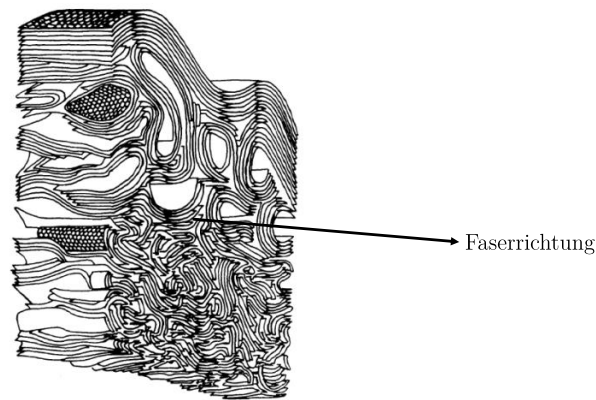
Die elektrischen Eigenschaften des Verbundstoffes hängen zudem von der verwendeten Polymermatrix ab. Polymere mit einem hohen Kristallisationsgrad benötigen eine geringere Füllstoffmenge zum Erreichen der Perkolationschwelle, aber auch die Viskosität, Oberflächenspannung und Polaritätsunterschiede zwischen Ruß und Polymer haben einen erheblichen Einfluss auf die kritische Füllstoffmenge (Taufertshöfer, 2014, S. 21–24) (Cheah, Simon & Forsyth, 2001).

Kohlenstofffasern

Bei Kohlenstofffasern handelt es sich um faden-, seil-, zwirn- bzw. strangartige Materialien aus mindestens 92 % Massenanteil Kohlenstoff in einem nicht-graphitartigen Zustand⁹ (IUPAC, 2014, S. 208). Kohlenstofffasern besitzen einen Durchmesser von 5 μm bis 8 μm , handelsüblich werden dabei 1000 bis 24.000 Einzelfasern zu Strängen gedreht (Urban, 2015, S. 164). Abbildung 6.7 zeigt den Querschnitt einer Kohlenstofffaser.

Es wird deutlich, dass die einzelnen Graphitschichten von innen nach außen an Ordnung zunehmen. Die zunehmende Unordnung nach innen ist der wesentliche Grund für die hohe Zugfestigkeit der Kohlenstofffasern, die je nach Art der Faser zwischen 2000 MPa und 7000 MPa liegt (Hackl, 2007, S. 10). Aufgrund der graphitartigen Schichtenstruktur mit einer Bindungsenergie von 4,3 eV in Quer- und 0,07 eV in Längsrichtung (Trauzettel, 2007) liegt das theoretische Elastizitätsmodul in Faserrichtung bei 1050 GPa und senkrecht dazu bei 35,7 GPa. In der Praxis liegen diese Kennwerte niedriger, da sie nur für ein Kohlenstoffgitter ohne Fehlstellen mit einer Schichtenfolge *ABAB* gelten (Flemming, Ziegmann & Roth, 1995, S. 7), sodass Werte für das Elastizitätsmodul in Faserrichtung zwischen 240 GPa und 700 GPa erreicht werden, wobei sich Kohlenstofffasern durch eine relativ ge-

⁹Die IUPAC weist darauf hin, dass der Ausdruck Graphitfaser anstelle Kohlenstofffaser fehlerhaft ist, da sich in Kohlenstofffasern beispielsweise über Röntgendiffraktometrie keine dreidimensionalen Graphitkristalle nachweisen lassen (IUPAC, 2014, S. 208). Nichtsdestotrotz lagern sich in Kohlenstofffasern wenige Graphenschichten vor allem an der Oberfläche als Verbund zusammen, weshalb dafür in dieser Arbeit der Ausdruck „graphitartig“ verwendet wird.



Quelle: verändert nach (Johnson, 1987)

Abbildung 6.7: Strukturmodell einer PAN-Faser.

ringe Dichte von $1,76 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ bis $2,10 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ auszeichnen¹⁰ (Hackl, 2007, S. 10). Es konnte jedoch gezeigt werden, dass mit erhöhter Carbonisierungstemperatur die Fehlstellen an der Oberfläche der Faser minimiert werden und die Orientierung der Graphitschichten senkrecht zur Faserrichtung erhöht wird, wodurch sich der *ABAB*-Schichtenfolge angenähert wird¹¹ (AVK, 2010, S. 142). Weiterhin zeichnen sich Kohlenstofffasern durch eine gute elektrische und thermische Leitfähigkeit aus, wobei auch hier Unterschiede hinsichtlich der Fasertypen zu beachten sind. Außerdem verkürzen sich Kohlenstofffasern im Gegensatz zu üblichen Baustoffen beim Erwärmen, nehmen aber im Umfang zu, was sich in einem negativen thermischen Ausdehnungskoeffizienten längs und einem positiven senkrecht zur Faserrichtung widerspiegelt (Hackl, 2007).

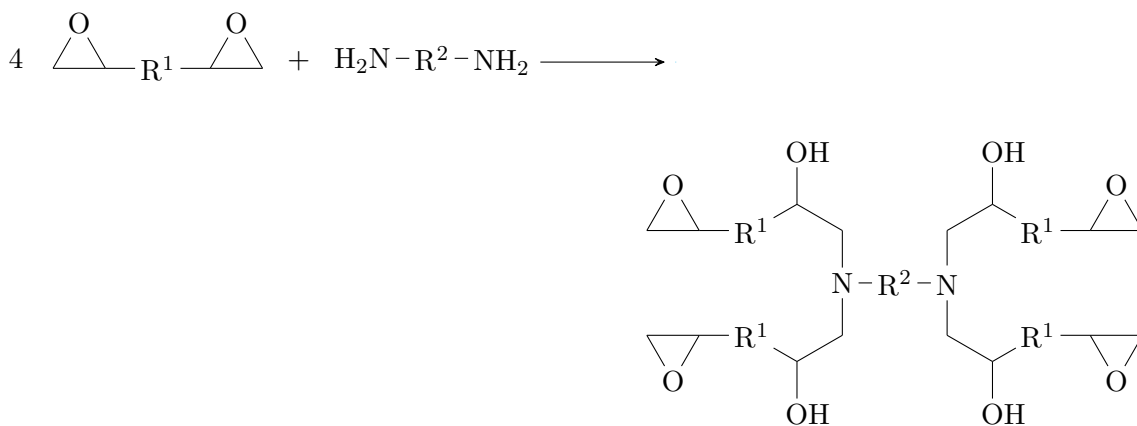
Damit spielen Kohlenstofffasern als Bestandteil von Verbundstoffen z. B. in kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen eine wichtige Rolle (Witten, Kraus & Kühnel, 2015, S. 31). Prinzipiell muss dabei beachtet werden, dass zwischen Matrix und Faser eine feste Bindung besteht, was die Vorbehandlung der Kohlenstofffasern unablässig macht (AVK, 2010, S. 142). Hierbei besteht eine Möglichkeit in der thermisch- und anodisch-oxidativen Oberflächenbehandlung, in deren Folge sauerstoffhaltige Gruppen auf die Oberfläche der

¹⁰Zum Vergleich: Glasfasern erreichen mit einer Dichte von $2,50 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ bis $2,62 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ Zugfestigkeiten von 3400 MPa bis 4500 MPa bei einem Elastizitätsmodul von 70 GPa. Oxidfasern auf Aluminium- oder Siliziumoxidbasis erreichen mit einer Dichte von $3,90 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ Zugfestigkeiten von 1200 MPa bis 1400 MPa sowie Elastizitätsmoduln von 340 GPa und 400 GPa.

¹¹Kohlenstofffasern werden durch die Pyrolyse organischer Ausgangsmaterialien hergestellt, wobei sich heutzutage als Rohstoff Polyacrylnitril durchgesetzt hat. In einem ersten Schritt findet eine Stabilisierung und Zyklisierung des Polyacrylnitrils bei Temperaturen von 200 °C bis 300 °C statt. Anschließend erfolgt die Carbonisierung unter Inertatmosphäre bei bis zu 2000 °C. In diesem Schritt bildet sich die graphitartige Struktur der Faser aus. Für eine genauere Ausführung der Herstellungsverfahren sowie der Abhängigkeiten von Herstellung und Eigenschaft der Faser siehe (Flemming et al., 1995, S.8–9), (AVK, 2010, S. 139–140), (Karger-Kocsis, 2014, S.36–37), (Huang, 2009).

Faser aufgebracht werden (Xu, Yang, Nakamura, Yang & Hamada, 2016). Über die Behandlung mit Salpetersäure konnten Wan, Wang und Dong (2001) zeigen, dass sowohl der Anteil an sauerstoffhaltigen Gruppen auf der Oberfläche der Faser erhöht wird als auch Längsspalten ausgebildet werden, die die Rauigkeit der Faser erhöhen und damit die Adhäsionseigenschaften zwischen Faser und Matrix erhöhen.

Als häufigstes Matrixelement kommen Epoxidharze für die Herstellung kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe zum Einsatz (Wolff-Fabris, 2015, S. 5). Diese zeichnen sich durch mindestens zwei Epoxidgruppen pro Molekül aus, wodurch eine hohe Ringspannung und damit Reaktivität bedingt wird¹²(Karger-Kocsis, 2014, S. 43). Für die Umwandlung eines Epoxidharzes in einen Duroplasten wird ein Härter eingesetzt, beispielsweise Polyisocyanate, Phenolharze, Polyamine oder carboxylhaltige Polyesterharze (Streitberger & Hanselmann, 2010). In einer irreversiblen Reaktion zwischen Epoxidharz und Härter mit eingebetteter Kohlenstofffaser bildet sich ein engmaschiges Netzwerk (Karger-Kocsis, 2014, S. 43), wobei je nach Härter die Reaktionen bei Raum- oder erhöhten Temperaturen bis 200 °C stattfinden. Für eine genauere Ausführung der verschiedenen Härter, Epoxidharze und deren Einfluss auf die Eigenschaften des sich bildenden Duroplastes sei auf (Streitberger & Hanselmann, 2010; Karger-Kocsis, 2014) verwiesen. Als Beispiel einer Kalthärtung ist in Abbildung 6.8 die Umsetzung eines aliphatischen Amins mit einem Epoxidharz dargestellt.



Quelle: nach (Streitberger & Hanselmann, 2010)

Abbildung 6.8: Vernetzung eines Epoxidharzes mit einem aliphatischen Diamin. Die Ringöffnung erfolgt durch eine NH-Gruppe des Härters nach dem S_N2-Mechanismus am niedriger substituierten Kohlenstoffatom des Epoxidharzes.

¹²85 % der heutigen Weltproduktion an Epoxidharzen erfolgt aus den Rohstoffen Bisphenol A mit Epichlorhydrin in einem basischen Milieu (Streitberger & Hanselmann, 2010).

6.2.3 Didaktische Strukturierung

Das Elementare

Zur Rekonstruktion des Lerngegenstandes *Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien* müssen aus den fachlichen Grundlagen in Kapitel 6.2.2 die grundlegenden Sinneinheiten, d. h. das Elementare, herausgearbeitet werden¹³. Dabei stellen die elementaren Zusammenhänge nicht nur die grundlegenden Einsichten für die Schülerinnen und Schüler dar. Das Lehrerlernen im Rahmen einer Fortbildung wird gerade für Lehrkräfte ohne Physik und Chemie durch Erschließen dieser elementaren Zusammenhänge ebenso unterstützt.

Zunächst muss als Grundlage sämtlicher Lerninhalte dieses Themas die Bedeutung der Vierbindigkeit von Kohlenstoff als Grundlage für die Bildung komplexer molekularer und festkörperchemischer Strukturen vorausgesetzt werden. Auf dieser Grundlage können weitere Zusammenhänge erschlossen werden. Als zentrale Sinneinheit lässt sich beim Thema Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien das *Struktur-Eigenschafts-Prinzip* ableiten. Damit ist das Elementare in diesem Fall ein Basiskonzept der Chemie (siehe Kapitel 2.3). So wird die Eigenschaft der elektrischen Leitfähigkeit der Kohlenstoffmaterialien mit graphenartigem Aufbau auf die Bienenwabenstruktur mit sp^2 -hybridisierten Kohlenstoffatomen zurückgeführt. Legt man für dieses Verständnis nicht das Orbitalmodell, sondern das Modell der chemischen Bindung als Elektronenpaare zugrunde, erklärt sich die elektrische Leitfähigkeit durch die Dreibindigkeit der Kohlenstoffatome im Graphen und damit das Vorhandensein von freien Ladungsträgern (Elektronen).

Mit der Erkenntnis der elektrischen Leitfähigkeit von Graphen und dem Aufbau von Industrieruß aus Primärteilchen, die sich zu Aggregaten und diese wiederum zu Agglomeraten zusammenschließen, kann über das Struktur-Eigenschafts-Prinzip auch die Perkolationskurve von Industrieruß erschlossen werden. Die Ausbildung elektrisch leitfähiger Pfade gelingt erst, wenn sich eine Mindestkonzentration von Industrieruß in einer Matrix befindet (kritischer Bereich). Die Primärteilchen sind aufgrund der graphenartigen Struktur elektrisch leitfähig und eine Matrix kann erst dann den elektrischen Strom leiten, wenn sich die einzelnen Primärteilchen berühren (leitfähige Pfade), sodass ein geschlossener Stromkreis entsteht. Auf ähnliche Weise lässt sich die hohe mechanische Stabilität von Kohlenstofffasern auf die starken kovalenten Bindungen zwischen den Kohlenstoffatomen im Graphen sowie den Aufbau der Faser aus wenigen Graphenlagen mit wachsender Ordnung bzw. Planarität der Schichten vom Faserinneren zum Faseräußeren zurückführen.

Die Bedeutung von Aktivkohle im Alltag begründet sich vor allem in der hohen Ad-

¹³Für eine differenzierte Darstellung und verschiedene Begriffsverständnisse des Elementaren und der Elementarisierung siehe (Bauer, 1992).

sorptionsfähigkeit. Dieser Aspekt kann zunächst als das Elementare genügen. Sollen Erklärungen für die Adsorption an Aktivkohle dargestellt werden, kann sich mit wachsendem Komplexitätsgrad entweder der Analogie von Aktivkohle zu einem Schwamm (Darstellung der porösen Struktur) oder dem Konzept der Van-der-Waals-Wechselwirkungen bedient werden.

Da Lernen nach dem Konzept der Didaktischen Rekonstruktion als Auffinden oder Begreifen des Elementaren durch die Schülerinnen und Schüler verstanden wird und die Elementarisierung Wege darstellt, wie dieses Schülerlernen durch die Lehrkraft unterstützt werden kann, müssen in der Fortbildung für die Lehrkräfte die elementaren Zusammenhänge aufgezeigt und Möglichkeiten der Elementarisierung eröffnet werden. Dafür sind insbesondere die Sachanalyse sowie die entwickelten Experimente und Lernstationen eines Themas entscheidend.

Darstellung für Lehrkräfte – die Konstruktion der Sachanalyse

In Kapitel 5 wurde durch die Interviewstudie bezüglich des gewünschten fachlichen Niveaus der Fortbildung eine große Variation festgestellt, die im Rahmen der Interpretation der Ergebnisse (siehe Kapitel 5.5) auf ein Niveau leicht über dem Schülerniveau festgelegt wurde. In Anhang A unter CD8 findet sich das Begleitmaterial zum Thema *Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien*, worin die Sachanalyse enthalten ist. Grundlegend steht die Aufbereitung der Thematik *Kohlenstoffnanomaterialien* für das Angebot moderner Naturwissenschaftsinhalte für den Unterricht (Kategorie 10 in Komplex 3: *moderne Themen*).

Neben den jeweiligen fachlichen Darstellungen, die die Grundlagen für die Experimente des Lernsets darstellen, hält die Sachanalyse im Sinne der Rekonstruktion des Lerngegenstandes einführende und historische Aspekte sowie Bezüge zur Verwendung im Alltag bereit. Weiterhin schließt jedes Teilkapitel mit einer Exkursbox ab, die den Lehrkräften wesentliche Begriffe wie *Van-der-Waals-Kräfte*, *Wasserhärte*, *Redoxbegriff*, *Zugfestigkeit* oder den *Aufbau von Kunststoffen*, die der Thematik und den Experimenten im Lernset zugrunde liegen, vorstellt. Hierdurch wird vor allem auf die fachlichen Unsicherheiten der Lehrpersonen reagiert (siehe Ergebnisse der Interviewstudie zu Komplex 1 und 2 in Kapitel 5.5). Außerdem wird damit der Forderung nach Lern- bzw. Selbststudiumsmaterialien für Lehrkräfte gerecht (Kategorien 15 in Komplex 1, 11 in Komplex 2 und 13 in Komplex 3).

Im Hinblick auf die Experimente und Lernstationen, die sich mit dem Material Aktivkohle befassen, spielen folgende Aspekte in der Sachanalyse eine tragende Rolle: Struktur (Station 1), Herstellung über Aktivierungsverfahren (Station 2), Adsorption (Station 3, 4,

6) und Recycling beladener Aktivkohlen (Station 5). Den zentralen Punkt stellt hierbei die Beschreibung der Adsorptionsvorgänge dar, da hierauf die wesentlichen Verwendungsmöglichkeiten von Aktivkohle beruhen. Dabei wurde das Phänomen der Adsorption sehr grundlegend dargestellt, um auch Fachkollegen ohne die Disziplin Chemie die Vorgänge an Aktivkohle fachlich fundiert darzulegen (Kategorie 14 in Komplex 3: *Darstellung des fachlichen Hintergrundes*). Auf eine tief greifende Beschreibung der verschiedenen Herstellungsverfahren sowie zugehörigen Reaktionsgleichungen wurde verzichtet, da diese für die Experimente keine Rolle spielen. Jedoch ist es im Zusammenhang mit der Station 2 von Bedeutung, dass die Lehrkräfte die grundlegenden Verfahrenswege und typische Ausgangsstoffe kennen. Spezifische Inhalte wie das *Lennard-Jones-Potential*, die *Kapillarkondensation* in die Mesoporen, das *Adsorptionsgleichgewicht* und die *Adsorptionsisothermen* wurden in die Sachanalyse nicht aufgenommen. Zum einen handelt es sich hierbei um spezielle physikochemische Aspekte, die erst in einen universitären Kontext von Bedeutung sind, zum anderen sind die Experimente so konstruiert, dass sie auf diese speziellen Begriffe verzichten.

Der Kernaspekt für die Ausführungen zu Industrieruß ist die Erklärung der elektrischen Leitfähigkeit über die Struktur dieses Materials, da in Station 8 des Lernsets ein durch Industrieruß leitfähig gefüllter Kunststoff hergestellt wird. Da sich hinsichtlich der Begriffe Industrieruß und Ruß mögliche Missverständnisse ergeben können, wird zudem die spezifische Herstellung von Industrierußen dargestellt. Bezüglich der Struktur wird jedoch auf den Einfluss von Oberflächenchemie, Primärteilchengröße sowie dem Verzweigungsgrad der Aggregate und der Polymermatrix auf die elektrische Leitfähigkeit verzichtet. Stattdessen wird verstärkt die zugrunde liegende Struktur-Eigenschafts-Beziehung fokussiert, die vertieft durch die Diskussion der Perkolkationskurve dargestellt wird (Kategorie 11 in Komplex 1: *inhaltliche Schwerpunktsetzung*).

Der Schwerpunkt des Abschnittes über Kohlenstofffasern liegt in Anlehnung an das zugehörige Experiment (Station 9) auf kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen, wobei exemplarisch die Verwendung von Epoxidharzen sowie die Aufgaben der Matrix im Verbundwerkstoff und die Bedingungen für optimale Eigenschaften des Werkstoffes diskutiert werden, die zentral für die Auswertung des entsprechenden Experimentes sind. Um die Kenngrößen von Kohlenstofffasern wie Zugfestigkeit und Elastizitätsmodul greifbarer zu gestalten, werden die Eigenschaften mit Glasfasern verglichen. Die Beschreibung der Struktur wird in Bezug auf die hohe Zugfestigkeit dargestellt, wohingegen Aspekte wie Anisotropie und der Zusammenhang zwischen den Eigenschaften spezieller Kohlenstofffasern und deren Herstellungsbedingungen nicht thematisiert werden, da diese weit über das nötige Niveau der Station 9 hinausgehen. Dieses Teilthema ist damit ein Beispiel für die Verknüpfung von Naturwissenschaften mit Technik (Kategorie 10 in Komplex 1: *Einbezug*

mehrerer Wissenssebenen), wie sie auch im Lehrplan für NWuT gefordert wird (TMBJS, 2013, S. 6).

Im letzten Abschnitt der Sachanalyse wird das Graphen betrachtet, wobei hier der Fokus auf der Struktur liegt, die für die weiteren Kohlenstoffnanomaterialien grundlegend ist. Die Erklärung der elektrischen Leitfähigkeit von Graphen erfolgt hierbei über das Modell der Elektronenpaarbindung. Der Begriff Hybridisierung wird dabei explizit ausgespart, da es sich hierbei um einen sehr speziellen Fachbegriff handelt, der ohne ein tief greifendes chemisches Verständnis nicht zugänglich ist.

Zusammenfassend stellt die Sachanalyse somit einen für die speziellen Experimente angepassten Überblick über die einzelnen Kohlenstoffmaterialien dar, wobei durch das Hinzufügen von einzelnen Fakten das Interesse der Lehrkräfte und später der Schülerinnen und Schüler für diese Thematik geweckt werden soll. Zusätzlich werden, beispielsweise durch das Einfügen von Erklärungen und die Exkursboxen, die verschiedenen fachlichen Hintergründe der naturwissenschaftlichen Lehrkräfte beachtet. Um diese inhaltliche Darstellung mit dem im folgenden Kapitel diskutierten Lernset zu verbinden, wurde ein möglicher grober Stoffverteilungsplan für das Thema Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien (siehe Anhang A CD9) als eigenständiges Modul im Fach NWuT erstellt und dem Material hinzugefügt, wie es in Kapitel 5.5 von den interviewten Lehrkräften auch als inhaltliche Anforderung genannt wurde.

Das Schülerlernset

Im Folgenden wird das Lernset zum Thema *Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien* kurz vorgestellt, das in einem iterativen Prozess mehrfach erprobt und optimiert wurde. Die konkreten Versuchsbeschreibungen, Durchführungen sowie Beobachtungen und Auswertung sind den Experimentieranleitungen in Anhang A CD8 zu entnehmen. Das Lernset setzt sich insgesamt aus neun Stationen zusammen (siehe Tabelle 6.2). Im Sinne des Lehrerlernens können diese Ziele ebenso für Lehrkräfte, vor allem mit chemie- und physikfremder Fachkombination, verstanden werden. Die Stationen wurden dabei so konstruiert, dass die Versuchsanleitungen als Kopiervorlagen genutzt werden können, jedoch auch digital zur Abwandlung bereitstehen (Kategorie 7 in Komplex 3: *Begleitmaterial: digital und abwandelbar*). Mit einführenden Kontexten, Aufgabenstellungen und nummerierten Durchführungen wurde somit das Material so schülernah wie möglich gestaltet, wie es auch Ansorge-Grein (2010, S. 37-64) als Qualitätsmerkmal guter Begleitmaterialien ableitete, zumal der Fertigungsgrad der Materialien durch die Interviewstudie (siehe Tabelle 5.4) nicht eindeutig festgelegt ist.

Die erste Station *Struktur-Eigenschafts-Beziehungen verschiedener Kohlenstoff- und*

Tabelle 6.2: Struktur des Lernsets.

Nr.	Name der Station	elementare Lernziele
1	Struktur-Eigenschafts-Beziehung verschiedener Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien	Überblick über Kohlenstoffmaterialien; Anwendung des Struktur-Eigenschafts-Prinzips als Grundlage der weiteren Stationen
2	Herstellung von Zuckerkohle	Verfahren der chemischen Aktivierung zur Gewinnung der Aktivkohle durch Dehydratation; Veranschaulichung der porösen Struktur
3	Adsorption von Farbstoffen an Aktivkohle	experimentelle Untersuchung der Adsorptionsfähigkeit von Aktivkohle
4	Adsorption organischer Lösungsmitteldämpfe an Aktivkohle und Aluminiumoxid	Bedeutung von Aktivkohle für den Umweltschutz und Vergleich verschiedener Adsorbenzien
5	Recyceln beladener Aktivkohlen	Darstellung der (thermischen) Desorption als Gegenprozess zur Adsorption
6	Aktivkohlefilter – Bau und Untersuchung der Wirksamkeit	Aufbau und Funktionsweise eines Wasserfilters auf Aktivkohlebasis; Adsorptionsfähigkeit von Aktivkohle bei gewässerbelastenden Stoffen
7	Aktivkohle als Nanopartikel?	Korngrößenabschätzung von Aktivkohle; Veranschaulichung der Größenskala <i>nano</i>
8	Herstellung eines leitfähigen Kunststoffes und Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit	Modelldarstellung eines leitfähig gefüllten Kunststoffes; experimentelle Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit graphenartiger Nanostrukturen
9	Herstellung eines kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffes und Vergleich ausgewählter Eigenschaften mit anderen Materialien	Untersuchung der Eigenschaften von Verbundwerkstoffen mit Kohlenstofffasern; Anwendung in der Leichtbauweise

Das Thema Aktivkohle nimmt im Lernset den größten Umfang ein, da es zum einen einen hohen Alltagsbezug beispielsweise durch Klärsysteme oder Kohletabletten ermöglicht und zum anderen in der Anschaffung für die Lehrkräfte unproblematisch ist (Kategorie 13 im Komplex 3: *Beschaffung von Arbeits- und Selbststudiumsressourcen* und Ka-

tegorie 12 in Komplex 1: *motivierende Inhalte*). In einem ersten Versuch (Station 2) wird daher Aktivkohle aus Kristallzucker unter Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure gewonnen (Wiskamp & Proske, 1996). Für die Station 3 kann diese selbst hergestellte oder eine gekaufte, pulverförmige Aktivkohle auf ihre Adsorptionsfähigkeit überprüft werden, indem eine Methylenblau-Lösung oder Powerade® Sports Mountain Blast, das den Farbstoff Brillantblau FCF (E133) enthält, entfärbt werden. Die Stationen 4 und 5 veranschaulichen die technische Bedeutung von Aktivkohlen durch die Adsorption von Lösungsmitteldämpfen sowie im Sinne der Umwelterziehung das Recycling von Aktivkohlen durch Desorption (Cornelsen Verlag GmbH, 2010a, 2010b). Gerade die Station 4 ermöglicht dabei die quantitative Erfassung der adsorbierten Menge an Lösungsmittel durch Wägung, wodurch der Vorgang der Adsorption als Anlagerung von Stoffen an die Aktivkohle greifbarer wird. Mit dem Bau eines eigenen Aktivkohlefilters (Station 6) und der Untersuchung der Adsorptionsfähigkeit in Bezug auf verschiedene Stoffklassen (Schwermetalle, Arzneistoffe, Carbonate etc.) wird das Thema in einem Alltagskontext dargestellt. Station 7 schlägt dann die Brücke zu den Nanomaterialien, da hierbei über eine einfache Filtration die Korngröße von pulverförmiger Aktivkohle abgeschätzt werden kann.

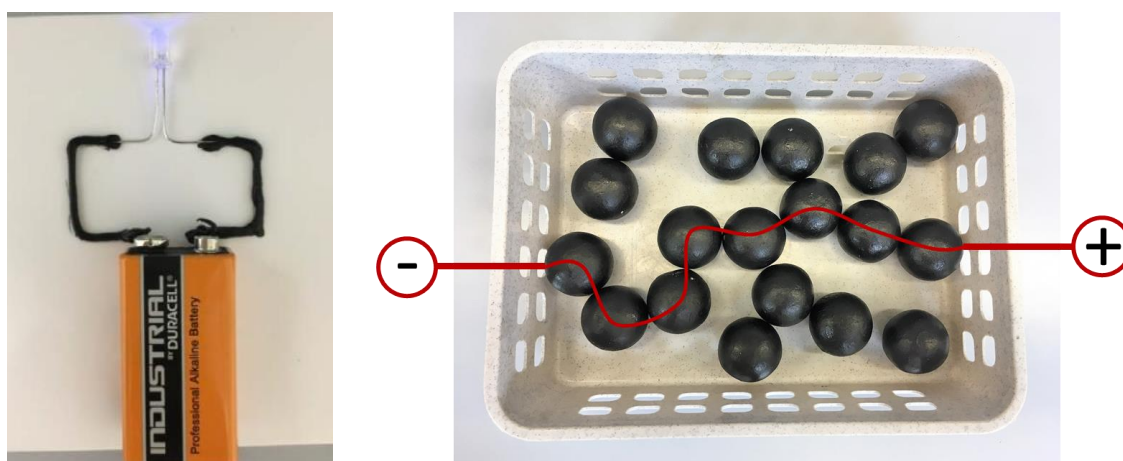


Abbildung 6.10: Schaltkreis mit selbst hergestelltem, leitfähig gefülltem Kunststoff (links) und Modellstation zur Perkolation (rechts).

In Station 8 wird eine erste Verwendungsmöglichkeit von Kohlenstoffnanomaterialien als Füllstoff für leitfähige Kunststoffe aufgezeigt. Über eine Mischung aus Flüssigkleber und Industrieruß wird so ein formbarer, leitfähig gefüllter Kunststoff hergestellt, der beispielsweise mithilfe einer Spritze in die Form von Verbindungen in einem Schaltkreis gebracht wird (siehe Abbildung 6.10). Dem eigentlichen Experiment geht hier ein Modellexperiment voraus, bei dem (unter Vernachlässigung der Primär- und Sekundärstruktur) Styroporkugeln als Modell für Industrieruß in einen Korb als Modell für den Kunststoff statistisch verteilt hineingelegt werden, bis sich ein leitfähiger Pfad ergibt (im Modell eine Kette aus

Styroporkugeln von links nach rechts). Auf diese Weise wird verdeutlicht, dass bei leitfähig gefüllten Kunststoffen stets eine Mindestmenge an Füllstoff vonnöten ist (kritische Füllstoffmenge). Das Modell vernachlässigt dabei den Tunneleffekt von Elektronen zwischen einzelnen Primärteilchen (siehe Kapitel 6.2.2)

Die letzte Station beinhaltet eine weitere Verwendung von Kohlenstoffnanomaterialien für kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe, wie sie beispielsweise in der Luftfahrt, im Fahrzeugbau oder bei Sportgeräten eingesetzt werden (Witten et al., 2015, S. 28). Im zugrunde liegenden Versuch wird ein kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (in Epoxidharz eingebettete Kohlenstofffaser) selbst hergestellt (siehe Abbildung 6.11) und in Bezug auf Eigenschaften wie Härte und Dichte mit einem Stahlrohr als Vertreter konventioneller Baustoffe verglichen. Dieses Experiment kann als Freihandexperiment bezeichnet werden, da lediglich Produkte vonnöten sind, die im Baumarkt erhältlich sind.

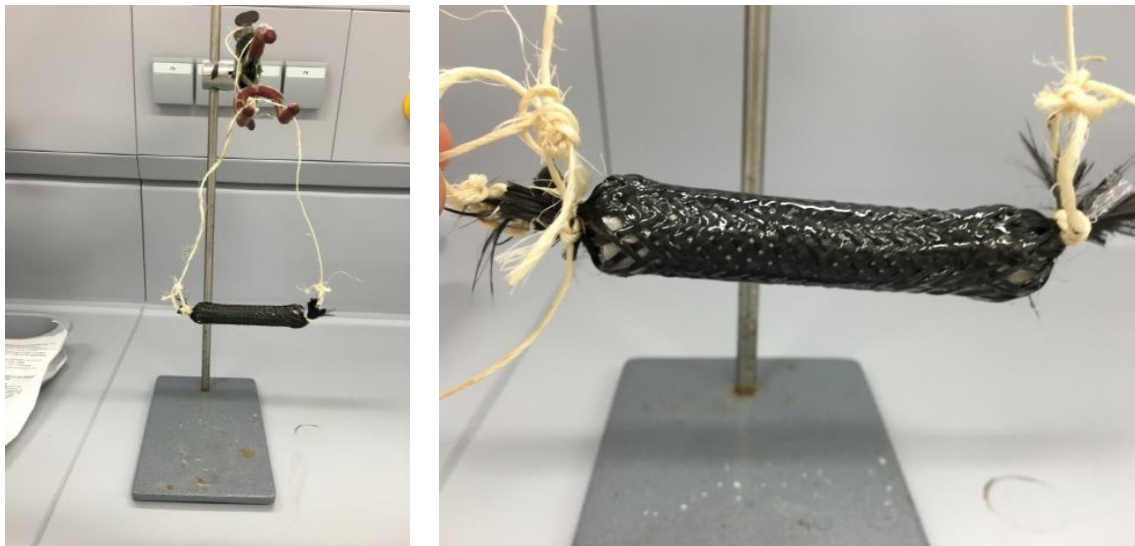


Abbildung 6.11: Herstellung eines kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffes.

Das Themenfeld der Kohlenstoffmaterialien liefert über das hier dargestellte Lernset hinaus zahlreiche Erweiterungsmöglichkeiten, die als zukünftige Aufgabe zur Gestaltung des Lernsets verstanden werden können. So wurde in Kapitel 6.2.1 bereits angedeutet, dass auch Kohlenstoffnanoröhrchen, sofern sie wirtschaftlich im schulischen Kontext erschwinglich werden, z. B. für Halbleiterbauelemente oder auch als Füllstoffe für Kunststoffe ein interessantes und zukunftsweisendes Konzept für den Unterricht darstellen können. Daneben ist die Herstellung von Graphen über die Klebeband-Methode ein weiterer möglicher Versuch, bei dem eine nobelpreisprämierte Arbeit experimentell direkt nachvollzogen werden kann (Banszerus, 2010). Generell liefert das Element Kohlenstoff überdies die Möglichkeit, viele weitere moderne Themenfelder aufzugreifen: So spielt Kohlenstoff beispielsweise in

der aktuellen Entwicklung moderner Energiespeicher eine tragende Rolle als Elektrodenmaterial (Yu et al., 2014; Medenbach et al., 2018; Goktas et al., 2018).

6.3 Überblick über die weiteren Fortbildungen und Diskussion der Konstruktionskriterien

6.3.1 Didaktik der Naturwissenschaften

Die erste Veranstaltung schneidet zunächst auf einer allgemeineren Ebene sämtliche Konstruktionskriterien der Fortbildung an (siehe Kapitel 4.2) und liefert die fachdidaktische Grundierung der weiteren Veranstaltungen. Inhaltlich werden daher die Aspekte *Basiskonzepte* und *naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen* sowie die Verknüpfung dieser Aspekte zwischen den einzelnen Naturwissenschaftsdisziplinen (siehe Kapitel 2.3) thematisiert. In Anhang A CD10 finden sich die Materialien der Fortbildung. Mithilfe einfacher Experimente werden die Lehrkräfte aufgefordert, Erklärungsmuster mithilfe der zuvor theoretisch-diskutierten Basiskonzepte zu finden. In diesem Zusammenhang wird das Verständnis der Basiskonzepte als Brillen für typische Erklärungsmuster etabliert, die jedoch stark von der zugrunde liegenden Fragestellung bzw. dem Kontext abhängen. In Hinblick auf naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen wird weiterhin über eine grundlegende Darstellung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges die besondere Bedeutung von Hypothesen und Experimenten unterstrichen und über ein Egg-Race zur Verbreitung von Flugfrüchten expliziert.

6.3.2 Bionik – Lernen von der Natur

Das Themenfeld Bionik umreißt ein weites Spektrum an technischen Anwendungen, die auf biologische Vorbilder zurückgreifen. Dabei können biologische Prozesse, Funktionen, Strukturen, Materialien, Organismen, Erfolgsprinzipien oder aber die gesamte Evolution zu technischen Nachahmungen hinsichtlich charakteristischer Eigenschaften führen (Nachtigall, 2002, S. 10). In der zugrunde liegenden Fortbildung (Materialien in Anhang A CD11) wird sich aus der Vielfalt an Teilgebieten der Bionik auf die Material- und Konstruktionsbionik beschränkt. Mithilfe von Experimenten und Lern- sowie Spielstationen wird hier ein Lernzirkel vorgestellt, der inhaltlich spezifische Oberflächen wie bei der Lotusblume, den Geckofüßen und der Eisbärenhaut sowie besondere Konstruktionen bei Faltungen in der Natur, stabilen Bauweisen von Pflanzen, der Spinnseide, der Klette und Bienenwaben fokussiert. Die Umsetzung dieses Themas als Lernzirkel setzt damit an der Forderung der Lehrkräfte nach Umsetzungsideen, modernen Themen sowie Lernmaterialien für Schüler an (siehe in Kapitel 5.5.3 Tabelle 5.4). Neben der Kontextorientierung (E-1) und dem experimentellen Fokus (E-4) werden vor allem über die Basiskonzepte Struktur-Eigenschaft

und Energie (E-2) fachliche Vertiefungen im Vortrag sowie der Sachanalyse angeboten.

Die Haftwirkung von Geckofüßen wird durch die Van-der-Waals-Kräfte als eine grundlegende molekulare Wechselwirkung diskutiert, die auch bei weiteren Themen (Schmelzpunkte von regenerativen Kraftstoffen, Adsorption an Aktivkohle, Adhäsion von Wasser an Oberflächen) als Grundlage dient. Die transparente Wärmedämmung nach Vorbild des Eisbären liefert die Möglichkeit, die Begriffe Reflexion, Brechung und Totalreflexion unter einer physikalischen Betrachtung zu erklären und mithilfe von Glasfasernmodellen zu veranschaulichen. Dieses Beispiel zeigt damit eine direkte Verknüpfung der Disziplinen Biologie und Physik auf, da im Kontext des Eisbären unter biologischen Aspekten (biologische Brille) auch die bergmannsche Regel abgeleitet werden kann (W. Nentwig, Bacher & Brandl, 2011, S. 24-25).

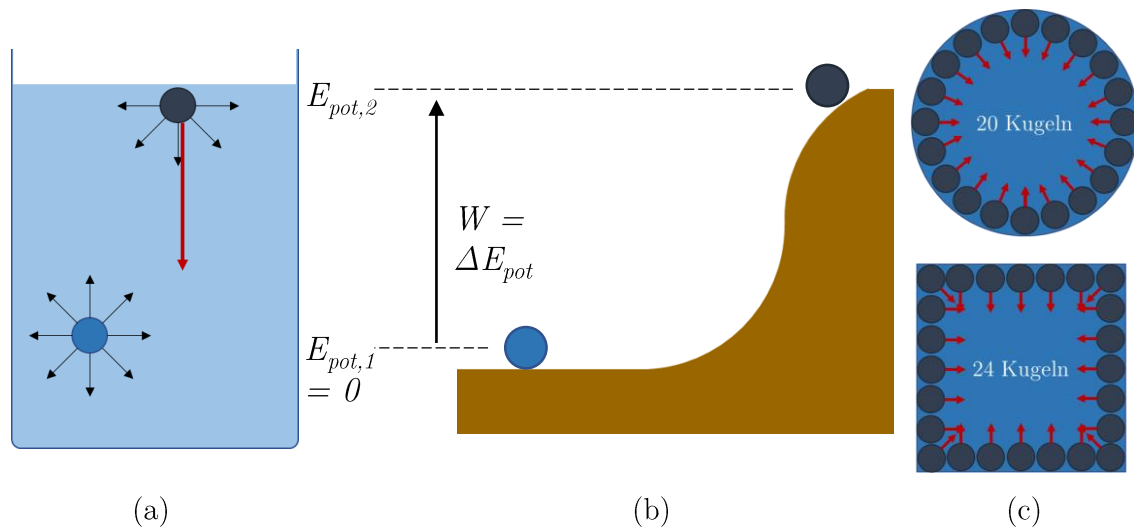


Abbildung 6.12: Modellbeschreibung der Oberflächenspannung. In (a) wird die Resultierende aller Anziehungskräfte eines Moleküls zu seinen Nachbarmolekülen im Inneren und an der Oberfläche einer Flüssigkeit gezeigt. Bild (b) zeigt das entsprechende Analogon über die mechanische Hubarbeit und (c) symbolisiert die Schlussfolgerung, dass eine kugel-(bzw. im Modell kreis-)förmige Geometrie zu einer Minimierung der Oberflächenenergie führt.

Die Beschreibung der Superhydrophobie beim Lotuseffekt erlaubt eine Modellbildung im Rahmen physikalischer Arbeitsweisen (E-3) in Bezug auf den Begriff Oberflächenspannung. Der Begriff Oberflächenspannung entspricht einer Oberflächenenergie, die der zu verrichtenden Arbeit entspricht, um Moleküle aus dem Inneren (beispielsweise einer Flüssigkeit) zur Oberfläche zu bringen (Demtröder, 2006, S. 180-182). Die Kraft, gegen die hierbei Arbeit verrichtet werden muss, ergibt sich aus der Summe der Anziehungskräfte zwischen den Teilchen, die im Flüssigkeitsinneren aufgrund der Raumgeometrie Null ist (siehe Abbildung 6.12). Als Analogon dient dabei die Anhebung einer Kugel, bei der gegen

die Erdanziehungskraft Arbeit in Höhe der Differenz in der potenziellen Energie zu verrichten ist. Auf diese Weise kann für Lehrkräfte ohne Physik gezeigt werden, dass Teilchen an der Oberfläche einer Flüssigkeit eine höhere Energie besitzen als im Inneren, woraus sich die Kugelform eines Wassertropfens auf superhydrophoben Oberflächen ableiten lässt.

Entscheidend ist jedoch bei der Darstellung der Oberflächenspannung über dieses Modell die Diskussion der Modellgrenzen. Generell wird bei den Darstellungen in Abbildung 6.12 deutlich, dass immer nur zwei ausgewählte Teilchen betrachtet wurden, sodass eigentlich die Teilchen an der Oberfläche aufgrund der ins Innere wirkenden Kraft eine Beschleunigung erfahren würden. In einer Darstellung, die eine monomolekulare Kette entlang einer Flüssigkeitskugel betrachtet, kann das vorliegende Kräftegleichgewicht durch die Potenzialtopfdarstellung durch das Ausfüllen der restlichen Teilchenplätze (Murmela-nalogie) erklärt werden (siehe Abbildung 6.13 (a)). Es zeigt sich so, dass in Abbildung 6.12 die repulsiven Wechselwirkungen zwischen den Teilchen vernachlässigt wurden.

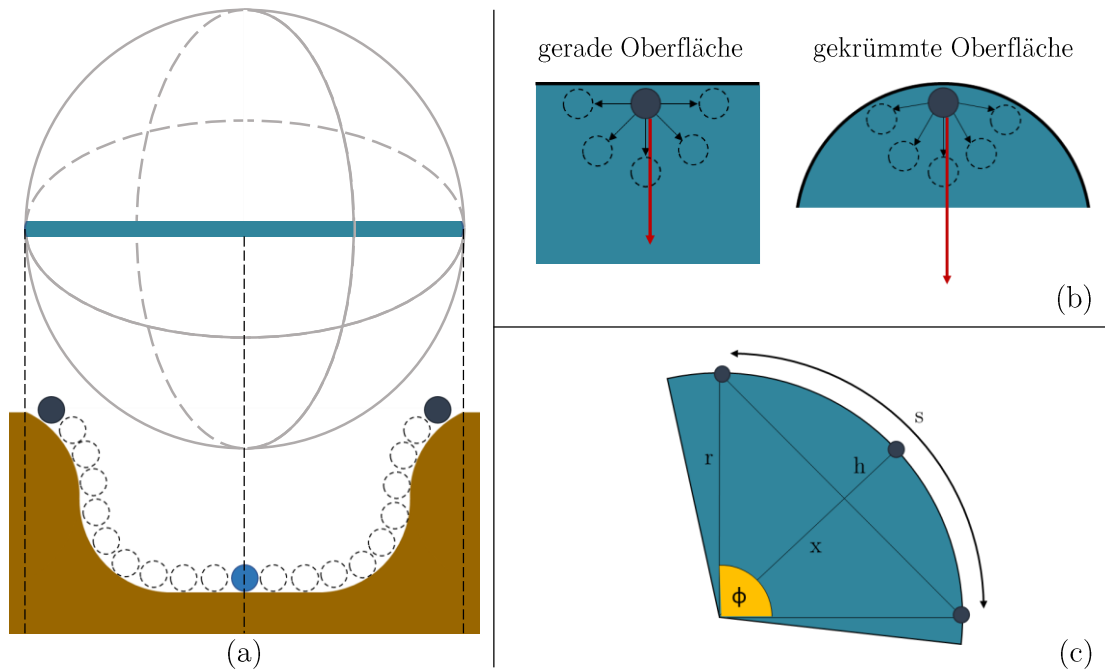


Abbildung 6.13: Modellgrenzen für die Modellbeschreibung der Oberflächenspannung. In (a) wird die Übersetzung des Modells auf einen Flüssigkeitstropfen dargestellt. Durch (b) wird der Einfluss der Krümmung der Oberfläche auf die resultierende Kraft der attraktiven Wechselwirkungen dargestellt und (c) gibt die Skizze für Abschätzung des Einflusses der Krümmung an.

Weiterhin wird in Abbildung 6.12 (c) nicht berücksichtigt, dass sich bei gekrümmten Oberflächen größere Oberflächenenergien pro Teilchen ergeben, da die Raumgeometrie verändert ist (siehe Abbildung 6.13 (b)). Der Einfluss der Raumgeometrie kann dabei durch

die Länge h beschrieben werden (siehe Abbildung 6.13 (c)). Der Kreisbogen s von einem Molekül zum übernächsten kann für einen Wassertropfen als obere Grenze zu 1000 pm angenommen werden, da der Durchmesser eines Wassermoleküls ca. 300 pm und der Abstand zwischen zwei Molekülen 200 pm (Länge der Wasserstoffbrückenbindung) beträgt¹⁴. Mit

$$\frac{360^\circ}{2\pi r} = \frac{\phi}{s} \quad (6.12)$$

und

$$h = r - x = r - r \cdot \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (6.13)$$

folgt für $s = 1000$ pm und einem typischen Tropfenradius von $r = 0,5$ cm für $h \approx 0$, sodass der Einfluss der Krümmung in diesem Modell vernachlässigt werden kann.

6.3.3 Arzneimittel

Beim Themenfeld Arzneimittel liegt der Fokus der inhaltlichen Betrachtung auf drei wesentlichen Arzneimittelklassen: den Analgetika, den Antazida sowie den Arzneipflanzen. Diese Teilgebiete werden in der Fortbildung (Materialien in Anhang A CD12) hinsichtlich chemischer Struktur sowie medizinischer Wirkung dargestellt und experimentell erprobt. Damit deckt diese Fortbildung ein typisches Modul des NWuT-Lehrplanes ab (TMBJS, 2013, 32-34), das der Forderung der Lehrkräfte nach einem Lehrplanbezug hinsichtlich der methodischen Gestaltung besonders nachkommt und bietet neben Experimenten auch eine Stoffverteilung sowie methodische Umsetzungen ausgewählter Inhalte an (siehe in Kapitel 5.5 Tabelle 5.4). Über den Lehrplan hinaus werden die Themen Antibiotika und die Klostermedizin nach Hildegard von Bingen vorgestellt.

Das Ziel der Veranstaltung ist neben der inhaltlichen Darstellung des Themas vor allem die Darstellung chemischer Argumentationen und die Erprobung typisch chemischer Arbeitsweisen im Labor. So lässt sich die bakteriostatische Wirkung von Penicillinen mit der strukturellen Ähnlichkeit zu Alanylalanin beschreiben (siehe Abbildung 6.14). Über das Enzym D-Alanin-Transpeptidase werden bei gram-positiven Bakterien Quervernetzungen in Form von Peptidbindungen zwischen Glycin- und D-Alanyl-D-Alanin-Resten im Aufbau der Mureinstruktur der Zellwand geknüpft. D-Alanyl-D-Alanin bindet dabei kovalent an die OH-Gruppe eines Serin-Restes im aktiven Zentrum des Enzyms. Penicillin als Antibiotikum kann diese Bindung unter Ringöffnung und Ausbildung eines D-

¹⁴Der Durchmesser eines Wassermoleküls kann mithilfe der Van-der-Waals-Gleichung und den kritischen Konstanten $T_k = 647,4$ K und $p_k = 217,5$ bar berechnet werden (Meschede, 2006, S. 268). Unter Berücksichtigung des Bindungswinkels in Wassermolekülen, der kovalenten O-H-Bindungslänge von ca. 100 pm und einer Wasserstoffbrücken-Bindungslänge von ca. 200 pm würde sich s zu ca. 500 pm ergeben (Vollhardt & Schore, 2000, S. 287). Für eine grobe Abschätzung genügt es jedoch, von 1000 pm auszugehen.

Alanin-Transpeptidase-Penicillin-Komplexes ebenso ausbilden, wodurch das Zellwandsyntheseenzym gehemmt und die Vermehrung der Bakterien blockiert ist (Schartl, Gessler & von Eckardstein, 2009, S. 103-104). Mithilfe des Struktur-Eigenschafts-Konzeptes und des Konzeptes der chemischen Reaktion (E-2) lässt sich daraus ableiten, dass chemische Verbindungen ähnlicher Struktur auch ähnliche Reaktionen eingehen können. In gleicher Weise lässt sich bei den Schmerzmitteln Morphin und Heroin, die über eine Acetylierungsreaktion zusammenhängen, ableiten, dass Morphin ein schwächeres Schmerzmittel ist als Heroin¹⁵.

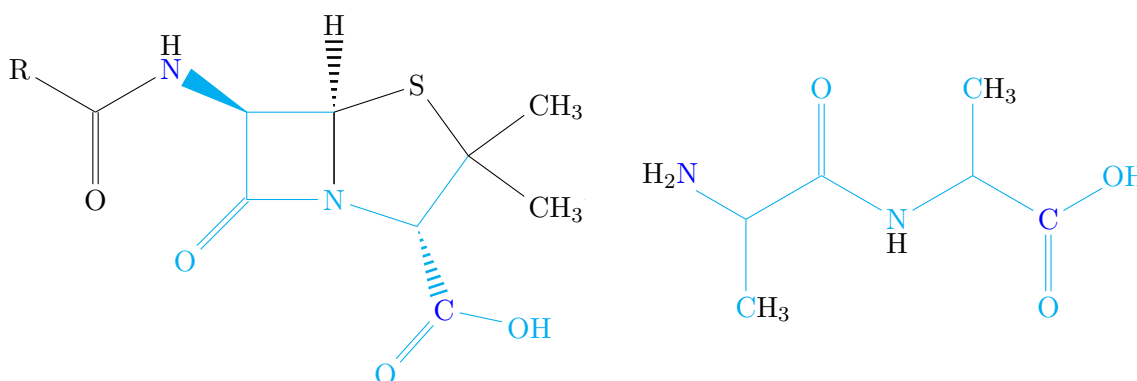


Abbildung 6.14: Strukturformel von Penicillinen (links) und Alanylalanin (rechts). Die blau dargestellten Bindungen und Atome stellen die strukturelle Ähnlichkeit von Penicillinen und Alanylalanin dar.

Prinzipiell bietet die Behandlung von Arzneimitteln die Möglichkeit, neben der Pharmakodynamik auch die zugrunde liegende Kinetik zu betrachten, da auf diese Weise verdeutlicht wird, wie beispielsweise Schmerzmittel im Körper freigesetzt, resorbiert, distribuiert, biotransformiert und eliminiert werden. Jedoch erfordert dies die Kenntnis über inhomogene Differentialgleichungen 1. Ordnung sowie kinetische Beschreibungen von Parallel- und Gleichgewichtsreaktionen. Diese Grundlagen können selbst in didaktisch stark reduzierter Form lediglich in einem Oberstufenkurs auf hohem Niveau vermittelt werden, sodass auf diesen Aspekt in der Fortbildung verzichtet wurde.

Elementarer ist dagegen für chemisch fachfremde Lehrkräfte die Entwicklung psychomotorischer Fertigkeiten in Bezug auf chemische Laborgeräte und typische Arbeitsweisen (E-3). Dazu zählen beispielsweise das Filtrieren und Titrieren (quantitative Bestimmungen von Wirkstoffen in Tabletten), der Nachweis von Stärke über die Iod-Kalium-Iodid-Probe (Nachweis von Hilfsstoffen in Tabletten), die Silberspiegelprobe (Nachweis von Vitamin C),

¹⁵Morphin besitzt zwei OH-Gruppen, die mit Essigsäureanhydrid unter Abspaltung von Essigsäure zu Heroin reagieren, wobei eine Acetylierung erfolgt. Da die Unterschiede der Elektronegativitäten bei der OH-Gruppe größer sind als bei der Acetylgruppe, ist Morphin wasserlöslicher als Heroin. Daher kann Heroin besser durch bzw. in fettthaltige Strukturen wie Epithelgewebe oder das Gehirn diffundieren.

verschiedene organische Synthesen (von Acetylsalicylsäure und Wintergrünöl) oder die Betrachtung von pH-Wertänderungen während chemischer Reaktionen sowie die quantitative Erfassung von Reaktionsprodukten durch pneumatisches Auffangen von Gasen (Wirkung von Antazida).

6.3.4 Wasser-Boden-Luft

Der Titel dieser Veranstaltung hat einen deutlichen Bezug zur 4-Elemente-Theorie nach Empedokles. Die hier vorgestellten Experimente (siehe Anhang A CD13) lassen sich vor allem im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht unter Verwendung des Teilchenkonzeptes (E-2) bzw. dem Aufbau eines Teilchenmodells (E-3) beschreiben und erklären. In der Fortbildung wird anstelle einer fachlichen Analyse des Themas daher auf die Entwicklung des undifferenzierten Teilchenmodells eingegangen. In diesem Zusammenhang wird ausgehend von historischen Entwicklungen der griechischen Philosophie über die Elementelehre (siehe z. B. (Leman, 1928)) der Bezug zu Schülervorstellungen bezüglich des Teilchenkonzeptes bei Schülerinnen und Schülern aufgegriffen. Gerade der Übergang zu den Vorstellungen über die Materie in der Alchemie offenbart einige Irrwege in den Naturwissenschaften, die sich auch im Schülerlernen bzw. als Schülervorstellungen wiederfinden (Barke, 2006, S. 21). Dazu zählen im Kontext dieser Veranstaltung vor allem animistische Sprechweisen („Säuren greifen Kalk an.“), Umwandlungskonzepte („Wasser wird leitfähig.“) und Mischungskonzepte („Wasser besteht aus Wasserstoff und Sauerstoff.“). Außerdem werden das Vernichtungskonzept und Verbrennungsvorstellungen diskutiert, die starke Ähnlichkeiten zur historischen Phlogistontheorie aufzeigen und vor allem für den weiterführenden Chemieunterricht ab Klassenstufe 7 entscheidend sind. Einen Überblick über die thematisierten Präkonzepte gibt Barke (2006, S. 35-96). Die Veranstaltung richtet sich damit insbesondere an den von den Lehrkräften geforderten fachdidaktischen Hintergrund (siehe in Kapitel 5.5 Tabelle 5.4) und vertieft die Aspekte Modellbildung im Rahmen naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen und Basiskonzepte.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass neben den Experimentieranleitungen der verschiedenen Veranstaltungen stets didaktische Kommentare verfasst wurden, die für die Lehrkräfte besondere Hinweise zur Durchführung bzw. zum Einsatz des Versuches im Unterricht oder zu möglichen Alternativexperimenten angeben. Bei den Experimenten zum Thema *Luft* wird beispielsweise auf ein Alternativexperiment verwiesen, bei dem ein brennendes Teelicht in eine flache Schale mit Wasser gestellt und ein Becherglas ohne Ausguss darüber gestülpt wird. Bei diesem Versuch wird der Anstieg des Wasserspiegels im Becherglas häufig damit erklärt, dass durch die Verbrennung der Kerze Luft *verbraucht* wird und so das Luftvolumen abnimmt. Diese Erklärung unterstreicht auf eine didaktisch unpassende Weise das Vernichtungskonzept bei Verbrennungen. Tatsächlich liegt dem Ver-

such eher eine Abkühlung der Luft im Becherglas und damit eine Volumenkontraktion zugrunde, nachdem die Kerze erloschen ist. Um die Ausdehnung von Luft durch Temperaturerhöhung experimentell zu untersuchen, wird im Versuch *Warme Luft vs. Kalte Luft* ein Glasrohr, dessen eines Ende über einen durchbohrten Stopfen mit einem Glaskolben verbunden ist, mit dem anderen Ende in ein mit Wasser gefülltes Becherglas eingetaucht und der Kolben mit den Händen umfasst. Infolge der Erwärmung der Luft durch das Berühren des Kolbens mit den Händen steigen Luftblasen im Wasser aus dem Glasrohr auf. Der Effekt dieses Versuches ist stark von der zugrunde liegenden Temperaturdifferenz sowie der Eintauchtiefe abhängig, da sich mit Erhöhung der Eintauchtiefe der Schweredruck des Wassers vergrößert, der dem Austritt der Luftblasen aus dem Glasrohr einen Widerstand entgegensetzt. Durch Hinweise dieser Art können die Lehrkräfte entsprechend ihrer Ausstattung an der Schule oder im Falle von fehlgeschlagenen Experimenten individuelle Anpassungen vornehmen.

6.3.5 Regenerative Kraftstoffe

Die Veranstaltung *Regenerative Kraftstoffe* stellt ein Thema vor, das sich in besonderer Weise durch einen interdisziplinären Charakter auszeichnet. So spielen neben biologischen Grundlagen (z. B. bei der Bildung von Biogas) ebenso chemische (Herstellung von Biodiesel und Bioethanol) wie physikalische Aspekte (Anforderungen von Kraftstoffen an Motoren) und im Weiteren auch ökonomische Kontexte (Wirtschaftlichkeit von Raffinerien) eine Rolle. Nach einer historischen Einbettung des Themas folgt die Darstellung einzelner Kraftstoffe wie Bioethanol, Biogas, Biodiesel und Biomass-to-Liquid-Kraftstoffe. Ausgehend vom weltweiten Energieverbrauch und Entwicklungen in der Erdölförderung wird die Relevanz regenerativer Kraftstoffe in unserer Gesellschaft diskutiert. Die Experimente thematisieren vor allem Biodiesel und Bioethanol. In Bezug auf Bioethanol wird z. B. der Weg der technischen Herstellung mit Experimenten zur Herstellung von Zuckerrübensaft, dessen Vergärung und anschließender Destillation des Ethanols im Labormaßstab abgebildet, was die naturwissenschaftlichen Grundlagen um eine technische Komponente erweitert. Weiterhin werden die Eigenschaften einzelner fossiler und regenerativer Kraftstoffe miteinander verglichen (siehe Anhang A CD14).

Die Viskosität als Maß für die Zählfähigkeit einer Flüssigkeit stellt hierbei eine relevante Kenngröße für regenerative Kraftstoffe dar, denn um in herkömmlichen Motoren Anwendung zu finden, müssen Biokraftstoffe beispielsweise ein ähnliches Fließverhalten zeigen, wie die herkömmlichen Kraftstoffe. Die Viskosität wird in der Regel durch ein Modellexperiment beschrieben, bei dem eine ebene Platte der Fläche A geradlinig gleichförmig durch eine Flüssigkeit bewegt wird und wegen der Haftreibung zwischen Platte und Flüssigkeit der Platte benachbarte Flüssigkeitsschichten mitgenommen werden. Aufgrund der

thermischen Bewegung der Flüssigkeitsmoleküle dringen die Moleküle ihrer freien Weglänge entsprechend in weitere benachbarte Flüssigkeitsschichten ein und können so einen Impuls entlang der Bewegungsrichtung der Platte übertragen, sodass ein Geschwindigkeitsgefälle $\frac{du}{dy}$ senkrecht zur Plattenbewegung auftritt. Aus dieser Überlegung folgt für die Reibungskraft der hier sogenannten inneren Reibung der Zusammenhang

$$F_R = -\eta A \cdot \left| \frac{du}{dy} \right|, \quad (6.14)$$

wobei $|F_R|$ gerade der Kraft entspricht, die entgegengesetzt zu F_R auf die Platte wirken muss, damit sie sich mit konstanter Geschwindigkeit durch die Flüssigkeit bewegt. Der Proportionalitätsfaktor η wird *dynamische Viskosität* genannt. Je größer η , desto mehr Kraft ist bei gleichem Geschwindigkeitsgefälle nötig, um die Platte entgegen der inneren Reibung mit konstanter Geschwindigkeit durch die Flüssigkeit zu bewegen und desto zähflüssiger ist die Flüssigkeit.

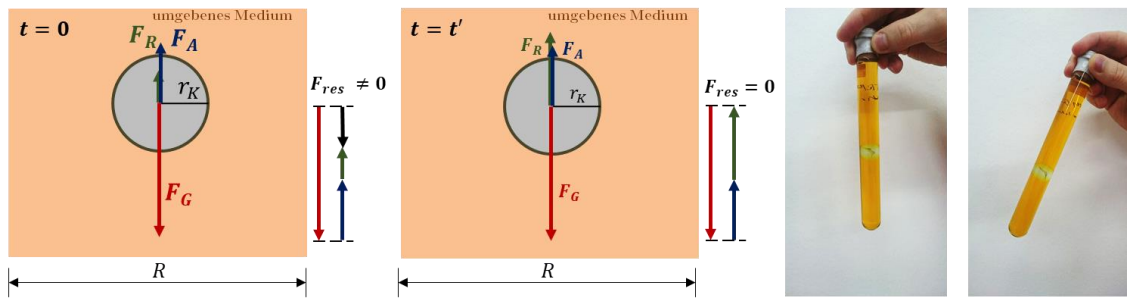


Abbildung 6.15: Kräftegleichgewicht bei der Kugelfallmethode nach Stokes (links) und experimentelle Umsetzung für die Fortbildung (rechts).

Messmethodisch kann die Viskosität durch die Kugelfallmethode nach Stokes bestimmt werden. Die Diskussion dieser Methode in einer Lehrerfortbildung mit fächerübergreifendem Kontext liefert die Möglichkeit, typische physikalische Arbeitsweisen aufzuzeigen. Anhand der hier wirkenden Gewicht-, Auftriebs- und Reibungskraft kann zudem exemplarisch das Kräftegleichgewicht sowie die Darstellung von Kräften über Kraftpfeile veranschaulicht werden. Weiterhin spielt zum Verständnis dieser Messmethode die Schülervorstellung, dass zur Aufrechterhaltung einer geradlinig gleichförmigen Bewegung eine Kraft vonnöten sei, eine entscheidende Rolle (Hericks, 1993, S. 131). Mit Abbildung 6.15 wird gezeigt, dass sich aufgrund der geschwindigkeitsabhängigen Reibungskraft nach einer gewissen Zeit ein Kräftegleichgewicht bei dieser Methode einstellt, in deren Folge aufgrund der Randbedingung einer Anfangsgeschwindigkeit eine geradlinig gleichförmige Bewegung der Kugel resultiert. Über die Falldauer entlang einer definierten Fallstrecke kann so die Viskosität bestimmt werden. Für weitere Ausführungen zum stokeschen Widerstandsgesetz und entsprechender Messmethodiken sei auf Stephani und Kluge (1995, S. 279-282), Schmutzer (1991, S. 545-550) und Demtröder (2006, S. 233-238) verwiesen.

Die experimentelle Umsetzung dieses Aspektes (E-4) orientiert sich an der Forderung einiger Lehrkräfte in der Interviewstudie nach möglichst einfachen Experimenten mithilfe von Murmeln in Reagenzgläsern, die mit unterschiedlichen Kraftstoffen gefüllt sind (siehe Abbildung 6.15). Jedoch widerspricht dieser Experimentieraufbau zwei Gültigkeitsbedingungen für die Kugelfallmethode nach Stokes, bei der von laminaren Strömungen und einem Kugelradius $r_K \ll R$ gegenüber dem Radius des Reagenzglases R ausgegangen wird. Da in diesem Versuch jedoch nur die Kraftstoffe hinsichtlich ihrer Viskosität qualitativ miteinander verglichen werden sollen, kann der Aufbau durch eine leichte Schrägstellung analog eines Höppler-Viskosimeters angepasst werden, bei dem Fehlerquellen wie Reibungseffekte zwischen dem Innenmantel des Reagenzglases und der Flüssigkeit in einer Kugelkonstanten zusammengefasst werden und Turbulenzen durch die leichte Schrägstellung vermieden werden (Engelmann & Woest, 2017).

6.3.6 Abschlussveranstaltung

Die Abschlussveranstaltung der Fortbildung wurde inhaltliche im Vorfeld nicht definiert. Stattdessen wurde der Termin zusammen mit den teilnehmenden Lehrkräften geplant. Auf diese Weise können die individuellen Bedürfnisse des Teilnehmerkreises berücksichtigt werden, die sich weder aus der Struktur der zugrunde liegenden Lehrpläne (TMBJS, 2015a, 2013), der Erkenntnisse über Problemfelder fächerübergreifenden Unterrichts (siehe Kapitel 3.3), der Fachsystematik (siehe Kapitel 2.3) oder der Interviewstudie ableiten lassen. Die besondere Berücksichtigung der Teilnehmendenwünsche in die Planung einer Veranstaltung greift damit die Kontextbedingungen der Lehrkräfte auf (Lipowsky, 2010) und knüpft an den individuellen Überzeugungen und Wissenständen der Lehrkräfte an (*coherence* als core feature bei (Desimone, 2009)) (siehe Kapitel 3.1). Zudem wurde in Bezug auf curriculare Reformen in Kapitel 3.2.2 gezeigt, dass adäquate Fortbildungsmaßnahmen die Lehrkräfte in den Fortbildungsprozess und damit auch in die Planung involvieren (Visser et al., 2010).

Im Laufe der gesamten Fortbildung wurden die Lehrkräfte daher dazu angehalten, eigene Vorstellungen über die Gestaltung der letzten Veranstaltung einzubringen. Neben der Erhöhung der Fortbildungsakzeptanz und der Teilnehmerzufriedenheit durch die eigene Mitgestaltung wird so informell auch der Austausch der Lehrkräfte über aktuelle Bedürfnisse unterstützt. In einem Diskussionsprozess, der sich über mehrere Veranstaltungen erstreckte, konnten so folgende mögliche Schwerpunkte identifiziert werden:

- **Aktuelle Trends bezüglich fächerübergreifender Naturwissenschaften:** Bei diesem Schwerpunkt wird den Lehrkräfte einen Einblick in aktuelle Forschungsergebnisse über die Akzeptanz der integrierten Fächer in Thüringen und bundesweit gegeben sowie empirische Ergebnisse über die Kompetenzentwicklung von Schülerinnen

und Schülern im fächerübergreifenden Unterricht gegeben. Auf diese Weise können die Lehrkräfte ihre eigenen Vorstellungen in der Diskussion wissenschaftlicher Ergebnisse reflektieren. Weiterhin erlaubt die Darstellung aktueller Befunde den eindeutigen Einbezug der Lehrkräfte in schulnahe Forschungsvorhaben.

- **Inklusion im fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht:** Das Thema Inklusion stellt eines der zentralen Problemfelder im Kontext Schule dar, mit dem jede Lehrkraft unabhängig ihrer Fachdisziplinen konfrontiert sein kann (Greiner & Kracke, 2018). Da sich die Fächer Biologie, Chemie und Physik hinsichtlich ihrer Denk- und Arbeitsstrukturen prinzipiell ähneln (siehe Kapitel 2.3), können beispielsweise Fragen der Sprachförderung integriert thematisiert werden. Hiermit wird daher ein stark pädagogischer Akzent gesetzt, auf den in der sonstigen Planung der Fortbildung bewusst verzichtet wurde.
- **Vorstellung von Unterrichtskonzepten:** Die letzte Veranstaltung kann auch dazu benutzt werden, dass die Lehrkräfte eigene Materialien und Unterrichtsideen vorstellen und gemeinsam mit den teilnehmenden Kollegen diskutieren. Auf Fortbildungselemente dieser Art wurde ebenso wie auf den pädagogischen Fokus in den weiteren Veranstaltungen verzichtet, da diese u. a. in der Interviewstudie als äußerst kritisch bewertet wurden.
- **Kontexte in den Naturwissenschaften:** In Anlehnung an die weiteren Veranstaltungen der Fortbildung können weitere kontextorientierte Themenfelder in fachlich und fachdidaktisch aufbereiteter Form präsentiert werden. Auf diese Weise lassen sich etwaige Wunschthemen der Lehrkräfte realisieren. Denkbar sind hier beispielsweise Themen wie *Waschmittel*, *Lebensmittelzusatzstoffe*, *Genussmittel*, *Baustoffe* oder *globale Umweltprobleme*, die im Kontext des der Arbeit zugrunde liegenden Projektes (ProfJL) in einzelnen Lehrerfortbildungen erprobt wurden.
- **Rekonstruktion eines neuen Themenfeldes:** Über die vorgeschlagenen Inhalte des vorherigen Anstriches hinaus ist es möglich, in einer Werkstattsituation mit den Lehrkräften ein neues, von den Lehrkräften vorgeschlagenes Themenfeld fachlich und experimentell aufzubereiten. Dieser Vorschlag beinhaltet einen erheblichen Planungs- und Organisationsaufwand, da die Aufbereitung einer neuen Thematik in nur einer Veranstaltung eine inhaltliche Schwerpunktsetzung und eine umfassende Materialvorbereitung benötigt.

In den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Pilotierung und Erprobung der Fortbildung (siehe Kapitel 7) wurden auf diese Weise zwei Schwerpunkte thematisiert. In der Pilotierung wurde sich ein Bezug des fächerübergreifenden Unterrichts auf Sprachförderung von Schülerinnen und Schülern gewünscht. Über die Vorstellung der Grundzüge der Sprachförderung über das Konzept *Leichte Sprache* (siehe z. B. (Maaß, 2015; Zurstrassen,

2015)) konnten die Lehrkräfte vorbereitete Materialien zur Sprachförderung erproben und im Rahmen einer Diskussionsrunde Verbesserungen vorschlagen (Materialien in Anhang A CD15). Zuletzt waren die Teilnehmenden angehalten, selbst eine Experimentieranleitung nach den Richtlinien der Leichten Sprache zu entwerfen. Diese Veranstaltung kennzeichnet sich damit durch einen ausgewiesenen inklusiven bzw. pädagogischen Fokus, der so auch in der Interviewstudie nicht erfasst wurde. Anzunehmen ist, dass sich diese Forderung der Lehrkräfte in der Teilnehmerzusammensetzung begründet, da viele der Lehrkräfte bei der Pilotierung keine Gymnasiallehrkräfte waren (siehe Kapitel 7), wodurch sich die Bedeutung der individuellen Bedürfnisse der Teilnehmenden trotz empirisch abgesicherter Erkenntnisse über Fortbildungen zeigt.

Im Zuge der Erprobung wurde sich von den Lehrkräften eher ein Bezug auf Naturwissenschaften im Alltag gewünscht, woraufhin ausgewählte Schwerpunkte zu den Kontexten *Waschmitteln* und *Lebensmittelzusatzstoffen* inklusive Experimenten angeboten wurden (Materialien in Anhang A CD16). Diese Forderung deckt sich im Gegensatz zur Pilotierung mit der Interviewstudie in der Notwendigkeit motivierender (z. B. alltagsorientierter) Inhalte als Merkmal guten fächerübergreifenden Unterrichts (siehe Tabelle 5.2 in Kapitel 5.5.1). Letztlich fand in der jeweiligen Abschlussveranstaltung eine Evaluation der gesamten Fortbildung statt, auf die im folgenden Kapitel eingegangen wird.

6.4 Zwischenbilanz

Insgesamt wurden für die Fortbildung neun Themenfelder fachdidaktisch rekonstruiert: Basiskonzepte, Bionik, Arzneimittel, Wasser-Boden-Luft, Regenerative Kraftstoffe, Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien, Leichte Sprache zur Sprachförderung, Lebensmittelzusatzstoffe und Waschmittel. Die besondere Herausforderung bestand dabei stets in der Vermittlung der fachlich teilweise sehr anspruchsvollen Inhalte. Zu diesem Zweck haben sich die zu Beginn dieser Arbeit diskutierten Basiskonzepte (siehe Kapitel 2.3) als wirkungsvolle Instrumente erwiesen, auch für Lehrkräfte Lerninhalte zu strukturieren und typische Erklärungsmuster abzuleiten. Ebenso konnten die weiteren Konstruktionskriterien (Kontexte, naturwissenschaftliche Arbeitsweisen, Experimente) passende Leitlinien für die Fortbildung, die eine inhaltliche Strukturierung in Übereinkunft mit den Ergebnissen der Interviewstudie zulassen, bereitstellen.

Aus der Fachsystematik heraus können diese vier Konstruktionskriterien insgesamt als passend für die Materialentwicklung im Rahmen dieser Arbeit bewertet werden. Damit ergeben sich in Bezug auf die Zielstellung der Fortbildung (Forschungsfrage F-1 in Kapitel 4.2) die Notwendigkeit einer fachlichen Fundierung mit experimenteller Umsetzung als fachdidaktische Leitlinie im Rahmen ausgewählter Kontexte, wie es bereits aus der

Interviewstudie geschlussfolgert wurde (siehe Kapitel 5.6).

Generell kann an der inhaltlichen Struktur der Fortbildung kritisiert werden, dass die einzelnen Themenfelder keinem übergeordneten fachlichen oder fachdidaktischen Rahmen unterstellt sind. So wäre es beispielsweise möglich, lediglich chemische Arbeitsweisen oder eine festgelegte Schulart als zentrale Leitlinie zu verstehen und darunter sämtliche Themenfelder zu konstruieren, wie es auch in einigen anderen Programmen deutschlandweit erfolgt (vgl. dazu die vorgestellten Fortbildungen in Kapitel 2.2). Da jedoch der fächerübergreifende Unterricht sämtliche weiterführende Schulen in Thüringen sowie Lehrkräfte der verschiedensten Disziplinen auch außerhalb der klassischen Naturwissenschaftsfächer betrifft, ist eine Festlegung auf einen methodischen oder auch thematischen Schwerpunkt ohne vorherige Analyse der Schulsituation nicht sinnvoll. In diesem Zusammenhang offenbart die Interviewstudie in ihren komplexen Wechselbeziehungen der abgeleiteten Kategorien auch, dass die Gründe für die Fortbildung von Lehrkräften für integrierten Naturwissenschaftsunterricht mannigfaltig sind. Weiterhin kann es nicht als Aufgabe dieser Arbeit betrachtet werden, einen Kurs für die Gestaltung eines kompletten Lehrplanes im Sinne eines Qualifizierungsprogrammes anzubieten. Dies muss als Kernaufgabe der zuständigen Ministerien angesehen werden.

Stattdessen zeichnen sich die einzelnen Themenfelder der Fortbildung durch ein exemplarisches Prinzip aus, das Ansätze für die unterrichtspraktische Gestaltung von Lehrplänen wie MNT, NWuT oder NT anbietet. Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Pilotierung und Erprobung der Fortbildung vorgestellt.

Kapitel 7

Pilotierung und Erprobung der Fortbildung

7.1 Organisatorischer Rahmen der Pilotierung und Erprobung

Wie in Kapitel 4.3 beim Untersuchungsablauf dargestellt, wurde die Fortbildung in der Praxis pilotiert (fünf Veranstaltungen) und erprobt (sieben Veranstaltungen). Mit Abbildung 7.1 wird die zeitliche Verteilung der beiden Blöcke dargestellt sowie die Anzahl der teilnehmenden Lehrkräfte. Beide Blöcke wurden an Schulen in Erfurt durchgeführt. Es zeigt sich, dass die Pilotierung als Blockveranstaltung organisiert war und die Erprobung schuljahresbegleitend stattfand. Jede Einzelveranstaltung umfasste ein Zeitfenster von vier Stunden am Nachmittag. Trotz der Organisation der beiden Kurse mit dem Thüringer Institut für Lehrerfortbildung, Lehrplanentwicklung und Medien (ThILLM) konnte keine Abminderung für teilnehmende Lehrkräfte erreicht werden, sodass Ganztagsveranstaltungen nicht realisiert werden konnten. Die einzelnen Veranstaltungen folgen dabei dem Aufbau aus Vortrag, Praktikum und Reflexion. Im Vortrag wurden die fachlichen Grundlagen sowie ausgewählte fachdidaktische Aspekte vorgestellt, wie sie exemplarisch in Kapitel 6.3 diskutiert werden. Das Praktikum diente der selbstständigen Erprobung der Experimente und Lernstationen durch die Lehrkräfte mit individueller Betreuung durch die Fortbildungsleitung. In der anschließenden Reflexionsphase wurde das jeweilige Themenfeld mit den Lehrkräften und den zugehörigen schulischen Umsetzungsmöglichkeiten zusammengefasst. In der Regel wurden die Veranstaltungen durch zwei Referenten betreut.

Auffällig ist die geringe Teilnehmerzahl bei der Pilotierung. Zu vermuten ist, dass dieser Umstand einerseits in der Organisation als Block begründet liegt, die bereits in der Interviewstudie und beispielsweise durch die allgemeinen Merkmale wirksamer Fortbildungen (siehe Kapitel 3) als wenig attraktiv beschrieben wird. Andererseits kam es bei der Planung

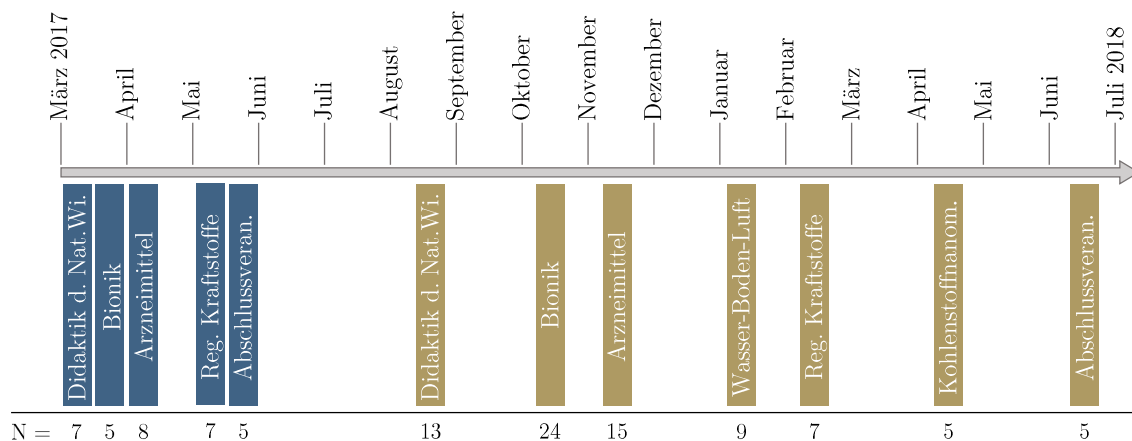


Abbildung 7.1: Zeitliche Verteilung der einzelnen Veranstaltungen für die Pilotierung (blau) und für die Erprobung (gold). Unter dem jeweiligen Block für die Veranstaltungen ist die Teilnehmerzahl aufgeführt.

der Fortbildung zu Verzögerungen, sodass die Veranstaltung erst vier Wochen vor Beginn bekannt gegeben werden konnte. Im Gegensatz jedoch zur Erprobung, die zu Beginn für Fortbildungen eine eher hohe Teilnehmerzahl erreicht, setzen sich die Lehrkräfte der Pilotierung aus einem festen Kreis an Teilnehmern zusammen. Während der Erprobung ist ab dem Jahreswechsel 2017/ 2018 ein deutlicher Einbruch in den Teilnehmerzahlen zu vermerken. Hier macht sich die Haushaltssperre in Thüringen 2018 bemerkbar, da dadurch die Veranstaltungen nicht mehr in den Fortbildungskatalog des ThILLM aufgenommen und somit viele Lehrkräfte nicht mehr erreicht wurden.

Für die Entwicklung der Fortbildung kommt hinsichtlich einer evaluativen Begleitung der Pilotierung eine besondere Bedeutung zu, um hier gewonnene Erkenntnisse in die Konstruktion der Fortbildung für die Erprobung einfließen zu lassen. Aus diesem Grund wird die Pilotierung stärker forschungsmethodisch begleitet und der Teilnehmerkreis nachfolgend sozioökonomisch genauer charakterisiert (siehe Tabelle 7.1). Alle teilnehmenden Lehrkräfte an der Pilotierung sind weiblich und haben Unterrichtserfahrung in integrierten Naturwissenschaftsfächern. Zudem liegt die Schulerfahrung des Teilnehmerkreises sehr hoch, da bis auf eine Lehrkraft mit einer Zeit im Schuldienst von nur 1,5 Jahren alle anderen Lehrkräfte über zehn Jahre Schulerfahrung aufweisen. Auffällig ist, dass keine der Lehrkräfte an einem Gymnasium unterrichtet. Die Fortbildungsaktivität ist bei dem Großteil der Teilnehmenden eher gering, da nur drei Lehrkräfte in den letzten fünf Jahren über 15 Fortbildungen und davon nur eine Lehrkraft über 15 Fortbildungen mit fächerübergreifenden Fokus besuchten. Der Anteil der Biologielehrkräfte ist sehr hoch, lediglich eine Lehrkraft unterrichtet Physik ohne weitere Naturwissenschaft. Die Ergebnisse der evaluativen Begleitung sind im Kontext dieses Teilnehmerkreises zu betrachten.

Tabelle 7.1: Sozioökonomische Daten der befragten Lehrkräfte.

	Anzahl
<i>Schulform</i>	
Regelschule	3
Gesamt- und Gemeinschaftsschulen	4
<i>Fortbildungsbesuche in den letzten 5 Jahren insgesamt</i>	
0 bis 5	2
5 bis 15	2
über 15	3
<i>Fortbildungsbesuche in den letzten 5 Jahren für fächerübergreifenden U.</i>	
0 bis 5	4
5 bis 15	2
über 15	1
<i>Fachkombination</i>	
Biologie ohne weitere Naturwissenschaft	3
Biologie & Chemie	3
Physik ohne weitere Naturwissenschaft	1

7.2 Untersuchungsdesign

Sowohl die Pilotierung als auch die Erprobung wurden evaluativ¹ begleitet. Dabei orientiert sich der Evaluationsprozess an dem von Stufflebeam (2003) bereits in den 60er Jahren entwickelten CIPP-Modell, das für Evaluation von Programmen wie Lehrerfortbildungen oder auch ganzen Projekten einen systemischen Rahmen bildet und aus den vier Komponenten *Context*-, *Input*-, *Process*- und *Product*-Evaluation besteht².

Die Context-Evaluation erfasst dabei die zugrunde liegenden Kontextbedingungen eines Programmes und fokussiert explizit die Bedürfnisse der Zielgruppe mit dem Ziel, beispielsweise Konstruktionskriterien für ein Programm abzuleiten. Die Input-Evaluation klärt ab, welche Maßnahmen zum Erreichen der in der Context-Evaluation erfassten Ziele ergriffen werden. In der vorliegenden Arbeit kann die in Kapitel 5 dargestellte Interviewstudie, die in Kapitel 3 durchgeführte Literaturanalyse und nicht zuletzt die inhaltliche Rekonstruktion in Kapitel 6 als Kontext- und Maßnahmenanalyse betrachtet werden, da hier

¹Prinzipiell wird zwischen formativer (das Programm begleitende) und summativer (das Programm abschließend bewertende) Evaluation unterschieden (Bortz & Döring, 2003, S. 112-113). Im Sinne des Vorgehens bei einer Didaktischen Rekonstruktion fokussiert die vorliegende Begleitung der Fortbildung auf der formativen Evaluation.

²Für eine ausführliche Darstellung des CIPP-Modells sei auf (Döring & Bortz, 2016; Stufflebeam & Shinkfield, 2007) verwiesen.

die verschiedenen Herausforderungen beim fächerübergreifenden Unterrichten sowie Anforderungen an eine adäquate Fortbildung ausgehend von der Lehrerperspektive und der Fachsystematik erfasst wurden. Zudem lassen sich hier die Context- und Input-Evaluation nicht eindeutig voneinander unterscheiden, da aufgrund des Modells der Didaktischen Rekonstruktion Ziele und Maßnahmen in einem engen Wechselgefüge stehen.

Auch die Process- und Product-Evaluation weisen einige Überschneidungen auf. So zielt die Process-Evaluation auf die Adaption der Maßnahme ab, wohingegen die Product-Evaluation die Wirkungen der Maßnahme untersucht. Wie in Kapitel 3.1.2 bereits diskutiert, lassen sich die Wirkungen einer Fortbildung nach Kirkpatrick (1970) auf vier Stufen unterscheiden: Reaktion, Lernerfolg, Verhalten, Ergebnis. Dabei wird in der ersten Stufe beispielsweise die Teilnehmerzufriedenheit bei einer Fortbildung erhoben. Die Zufriedenheit der Lehrkräfte in Bezug beispielsweise auf die inhaltliche und methodische Gestaltung einer Einzelveranstaltung einer Fortbildungsreihe hat dann jedoch auch Einfluss auf die weitere Gestaltung der Maßnahme. An dieser Stelle sei erwähnt, dass sich die Process- und Product-Evaluation dieser Studie vor allem auf die Teilnehmerzufriedenheit beschränken. Inwieweit die Fortbildung Einfluss auf das unterrichtspraktische Handeln (Stufe 3) oder das Schülerlernen (Stufe 4) hat, kann im Rahmen dieser Arbeit mit dem Fokus auf konzeptioneller, rekonstruktiver Forschung nicht geklärt werden. In Abbildung 7.2 sind die durchgeführten Untersuchungsmaßnahmen im Rahmen des CIPP-Modells dargestellt.



Abbildung 7.2: Evaluationsmethoden im Rahmen des CIPP-Modells für die konstruierte Fortbildung.

Zur Erhebung der Teilnehmerzufriedenheit wird sich eines Fragebogeninstrumentes (ELBI) bedient, das in einer Expertengruppe aus Doktoranden und Postdoktoranden des Projektes ProfJL (siehe Kapitel 4.1) partizipativ in mehreren aufeinanderfolgenden Workshops sowohl nach dem top-down- als auch dem bottom-up-Prinzip erstellt wurde (Milatz et al., 2018). Dabei wurden Erfahrungen, Vorarbeiten und Bedürfnisse aus den verschiedenen Teilprojekten von ProfJL einbezogen (bottom-up) und mit bestehenden Evaluationsformaten von Vigerske (2017) und Haenisch (1990) verknüpft (top-down).

Der Fragebogen (siehe Anhang A CD17) umfasst die Aspekte Zufriedenheit, Angemessenheit und Nachhaltigkeit, wobei die Evaluation der Teilnehmerzufriedenheit der hier vorliegenden Fortbildung an die Konstrukte Zufriedenheit und Angemessenheit angelehnt ist. Die Teilnehmerzufriedenheit setzt sich damit aus den Aspekten *allgemeine Zufriedenheit*, *inhaltliche Gestaltung*, *methodische Gestaltung*, *Kompetenz des Referenten* und *Rahmenbedingungen* zusammen. Der für die Erprobung abgeleitete Fragebogen ist in Anhang A CD18 aufgeführt. Für die Pilotierung wurde lediglich die allgemeine Zufriedenheit in einem geschlossenen Format erfragt. Die inhaltliche und methodische Gestaltung wurde aufgrund der geringen Teilnehmerzahl in einem offenen Format erhoben. Zudem wurde der Aspekt der Praxisrelevanz der Fortbildung erfragt. Das zugehörige Instrument findet sich in A CD19.

Neben dem eingesetzten Fragebogen zur Veranstaltungsevaluation wurden in der Pilotierung weitere Instrumente für die Evaluation verwendet (siehe Abbildung 7.3), auf die in der abschließenden Erprobung verzichtet wurde. Mithilfe der Graffiti-Methode (Heimlich, 1983) werden die Erwartungen der teilnehmenden Lehrkräfte erhoben, indem sie die folgenden Satzanfänge beenden sollten:

- Ich erwarte mir von diesem Weiterbildungsblock ...
- Dieser Weiterbildungsblock wird erfolgreich, wenn ...
- Ich habe mich zu diesem Weiterbildungsblock angemeldet, weil ...
- Ich hoffe, wir werden hier nicht ...

Auf diese Weise sollen gruppenspezifische, individuelle Abweichungen von den in der Interviewstudie ermittelten Leitlinien für die Veranstaltungsgestaltung abgeleitet werden. Zudem wurden die Lehrkräfte aufgefordert, gegen Ende der Fortbildung nach ausführlicher Sichtung der Begleitmaterialien diese in einer schriftlichen Bewertung hinsichtlich Vollständigkeit, strukturellem Aufbau, Schultauglichkeit und Umfang zu bewerten. Am Ende der letzten Veranstaltung wurde abschließend kein Fragebogen eingesetzt, sondern eine Gruppendiskussion durchgeführt, die neben Rahmenbedingungen und Mehrwert der Fortbildung für die Lehrkräfte vor allem die Weiterentwicklung der Fortbildung in Hinblick auf die Erprobung fokussiert. Der vollständige Gruppendiskussionsleitfaden ist in Anhang F dargestellt.

Die geringe Teilnehmerzahl in der Pilotierung erfordert eine besondere Beachtung der Zuverlässigkeit des erhobenen Konstrukts. Um diese zu gewährleisten, wurde das Methodendesign so gewählt, dass der Fragebogen (mit geschlossenem und offenem Format) sowie die Gruppendiskussion die Teilnehmerzufriedenheit überlappend und ergänzend erheben. Diese Form der Triangulation, die hier aufgrund des geschlossenen Antwortformates

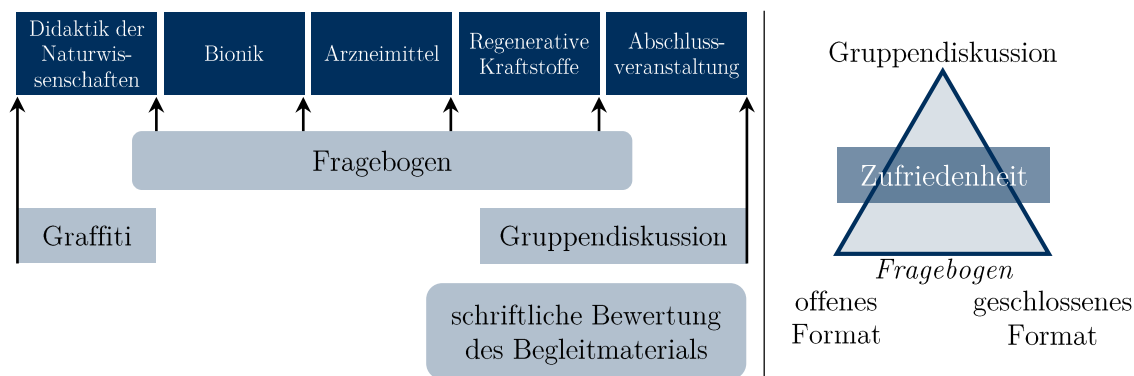


Abbildung 7.3: Instrumente der begleitenden Evaluation während der Pilotierung.

im Fragebogen auch einen quantitativen Anteil enthält und somit Anteile eines Mixed-Methods-Designs aufweist, wird in der Literatur häufig als ein wesentliches Gütekriterium qualitativer Forschung formuliert (Lincoln & Guba, 1985; Mayring, 2002; Döring & Bortz, 2016). Dennoch muss hinsichtlich der Ergebnisse der Begleituntersuchungen festgehalten werden, dass diese lediglich für den individuellen Teilnehmerkreis während der Fortbildung gültig sind, da es im Rahmen von Fortbildungen mit typischen Teilnehmerzahlen von fünf bis 25 praktisch nicht möglich ist, eine repräsentative Stichprobe zu erreichen.

7.3 Ergebnisse der evaluativen Begleitung

7.3.1 Ergebnisse der Pilotierung

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse aus der Pilotierung dargestellt und es wird aufgezeigt, welche Überarbeitungen der Fortbildung sich daraus für die Erprobung ergeben. An dem zu Beginn der ersten Veranstaltung durchgeführten Graffiti nahmen sechs Lehrkräfte teil. Die Antworten der Lehrkräfte wurden in ein einheitliches Schriftbild überführt und Redundanzen in Form von inhaltlichen Dopplungen entfernt (siehe Abbildung 7.4).

Auffallend ist, dass allen Antworten die Forderung nach unterrichtspraktischen Anregungen gemein ist, jedoch auch eine Anbindung an theoretisches Vorwissen gewünscht wird. Zudem wird durch Aussagen, die sich auf die Relevanz für den eigenen Unterricht oder das Interesse an den Veranstaltungsthemen als Begründung für die Teilnahme beziehen, die Angebotsnutzung vor Beginn der Fortbildung (Stufe 1 der Nutzung) deutlich, wie sie in Kapitel 3.1.2 durch das Angebots-Nutzungs-Modell nach S. G. Huber und Radisch (2010) unterstrichen wurde. Aus diesen Aussagen lässt sich auch aufgrund der Freiwilligkeit der Teilnahme an der Fortbildung ableiten, dass die Lehrkräfte eine hohe intrinsische Motivation für die Auseinandersetzung mit integrierten Naturwissenschaften aufweisen. Gleichzeitig werden Aspekte der Veranstaltungsführung deutlich, die sich auch

im Konstrukt der Teilnehmerzufriedenheit im Fragebogen wiederfinden. Dazu zählt z. B. der Wunsch nach einem kompetenten Referenten sowie nach einer strukturierten und kollektiven Arbeitsweise. Zuletzt sei auf die Aussage *Ich hoffe, wir werden hier nicht zu viele bunte Karten beschreiben müssen.* hingewiesen. Auch wenn es als zentrale Aufgabe einer Begleitevaluation anzusehen ist, sowohl für die Veranstaltungsleitung, für die Begleitforscher und auch für die Teilnehmenden sachdienlich zu sein (DeGEval, 2008, S. 10-13), muss für eine ausgewogene Veranstaltungsplanung aus inhaltlicher Bearbeitung eines Themas und dessen evaluativer Begleitung ein ausgewogenes Maß gefunden werden, das deutlich auf die Fortbildungsinhalte zu legen ist.

<p>Ich erwarte mir von diesem Weiterbildungsblock ...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anregungen für den Unterricht und praktisches Arbeiten. • ein Auffrischen der theoretischen Informationen. • einen interessanten, lehrreichen Nachmittag. • neue didaktische Hinweise und Vorgehensweisen. 	<p>Ich hoffe, wir werden hier nicht ...</p> <ul style="list-style-type: none"> • theoretisch zugemüllt. • nur herumsitzen und zuhören. • gelangweilt. • zu viele bunte Karten beschreiben müssen. • die Zeit nur absitzen und nichts Neues dazulernen.
<p>Dieser Weiterbildungsblock wird erfolgreich, wenn ...</p> <ul style="list-style-type: none"> • ich gelernte Dinge in meinem Unterricht einsetzen kann. • ich viele Anregungen, Informationen mitnehmen kann. • alle mitmachen. • zügig gearbeitet wird. • der rote Faden erkennbar ist. • der Referent uns mitnimmt. • ich die theoretischen Grundlagen mit möglichst vielen praktischen Dingen verbinden kann. 	<p>Ich habe mich zu diesem Weiterbildungsblock angemeldet, weil ...</p> <ul style="list-style-type: none"> • ich viele Anregungen und Ideen für meinen Unterricht bekommen möchte. • ich die Themen interessant fand. • ich Material in die Hand bekomme, um damit zu arbeiten (Zeitersparnis). • die Themen für meine Fächer relevant sind. • man dazu lernen muss. • meine Erfahrungen im Fach MNT noch zu wenig sind.

Abbildung 7.4: Ergebnisse des Graffiti.

Die Erfassung der Teilnehmerzufriedenheit über das geschlossene Format des Fragebogens³, der zum Ende jeder Veranstaltung ausgeteilt wurde (mit Ausnahme der letzten Veranstaltung), ergibt eine hohe bis sehr hohe Zufriedenheit. Für jede Veranstaltung wurde der Gruppendurchschnitt von allen Items und allen Teilnehmenden berechnet und in Abbildung 7.5 dargestellt.

³Die Zufriedenheit als latente Variable wird über eine 5-stufige Likert-Skala ohne Beschriftung der Zwischenantworten erfasst. Die Skala umfasst insgesamt sechs Items. Die Rückmeldung liegt stets bei 100 %, da jede teilnehmende Lehrkraft einen Fragebogen ausfüllte.

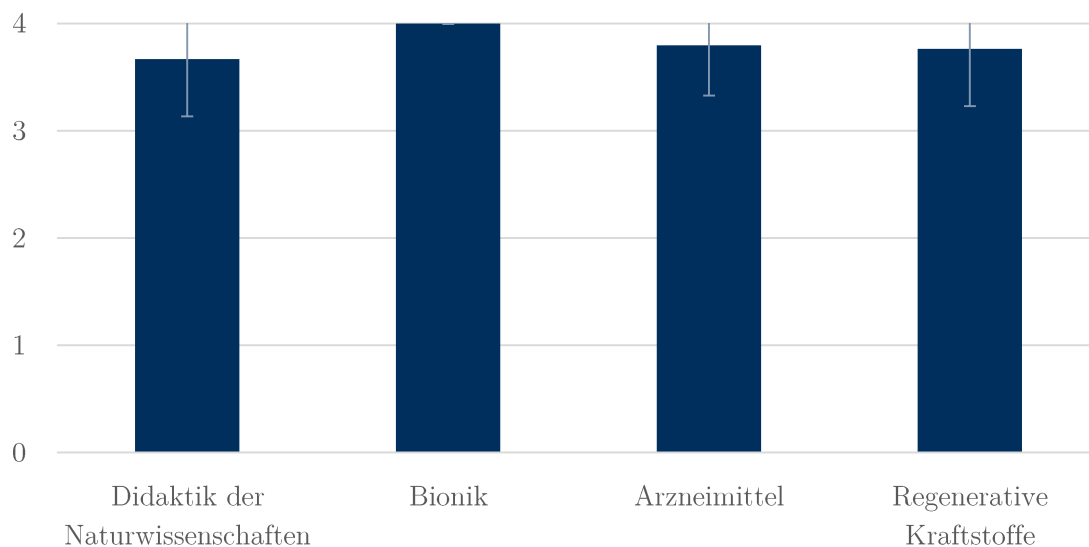


Abbildung 7.5: Teilnehmerzufriedenheit bei der Pilotierung nach Veranstaltungen. Die Skala ist definiert von *gar nicht zufrieden* (0) bis *sehr zufrieden* (4). Angegeben sind die Gruppendurchschnittswerte sowie die zugehörigen Standardabweichungen.

Die offenen Formate im Fragebogen in Bezug auf die methodische und inhaltliche Gestaltung betrachten die Aspekte *Struktur der Veranstaltung*, *fachlicher Input* und *Experimentierphase* (siehe Abbildung 7.6). Insgesamt ergaben sich hier 125 Aussagen, die induktiv inhaltsanalytisch zusammengefasst wurden. Außerdem wurde die Häufigkeit der gebildeten Kategorien ausgezählt. Insgesamt lässt sich ableiten, dass die Lehrkräfte mit der Struktur der Veranstaltung, dem fachlichen Input sowie der Experimentierphase sehr zufrieden sind, da überwiegend positive Äußerungen auftreten (95 % bei Struktur, 88 % bei fachlicher Input und 98 % bei Experimentierphase). Hervorzuheben ist bei der Struktur der Veranstaltung das gute Verhältnis aus Theorie und Praxis (22 %). Der Wunsch nach einer Vorstellung der geplanten Experimente wurde in der ersten Veranstaltung aufgenommen. Im Sinne der formativen Evaluation wurde dieser Hinweis beispielsweise in den weiteren Veranstaltungen berücksichtigt.

Hinsichtlich des fachlichen Inputs kann sowohl eine gute Passung des Vortrages zur restlichen Veranstaltung verzeichnet werden. Insbesondere die Kompetenz des Referenten und das Auffrischen der Kenntnisse zeigen die Anbindung der Veranstaltungsgestaltung an die Aussagen aus dem Graffiti, bei dem diese beiden Aspekte als Erfolgsbedingungen genannt wurden. Jedoch wurde der fachliche Input auch teilweise als zu lang und anspruchsvoll bewertet. Tatsächlich ist die Kritik des hohen fachlichen Niveaus nachvollziehbar, da mit den Themen Arzneimittel und Regenerative Kraftstoffe zwei fachlich anspruchsvolle und eher für den NWuT-Unterricht am Gymnasium geeignete Thematiken behandelt wurden.

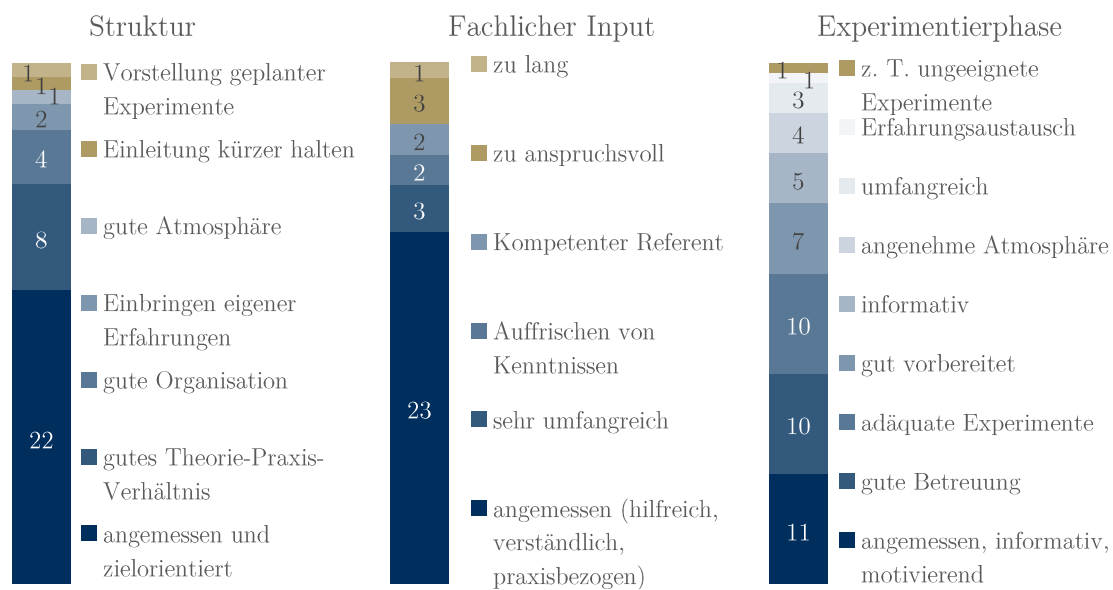


Abbildung 7.6: Kategoriensystem für die inhaltliche und methodische Gestaltung der Pilotierung. Die blauen Balken geben positive Äußerungen an, die goldenen negative.

Dieser Aspekt ist dabei im Kontext des Teilnehmerkreises zu betrachten, der sich lediglich aus Regel- und Gemeinschafts- bzw. Gesamtschullehrkräften zusammensetzt, sodass die Passfähigkeit der fachlichen Tiefe zu optimieren wäre. Die Schulform der Lehrkräfte kann auch als Indikator betrachtet werden, dass bei der Experimentierphase einige Experimente für den Schulunterricht als ungeeignet bewertet wurden. Hinsichtlich dieses Aspektes wäre sogar eine stärkere Ausprägung zu erwarten gewesen, da neben dem Effekt durch den Teilnehmerkreis die Experimente aus einer Bandbreite einfacher wie komplexerer Versuche aufgebaut sind. Bezüglich der Experimentierphase kann an dieser Stelle der hohe Informationsgehalt (10 %), die gute Betreuung (19 %) und die angenehme Atmosphäre (8 %) unterstrichen werden.

Über die Bereiche Struktur, fachlicher Input und Experimentierphase hinweg wurden Aussagen in Bezug auf die Kompetenz des Referenten hinsichtlich Fortbildungsplanung und -durchführung oft genannt (18 % aller Aussagen) sowie Aspekte, die sich auf eine angenehme Atmosphäre bzw. einen Erfahrungsaustausch beziehen (6 %), die auch für erfolgreiche Lehrerfortbildungen als Kriterien für die Teilnehmerzufriedenheit genannt werden (siehe Kapitel 3.1.2). Somit kann geschlussfolgert werden, dass das offene Antwortformat im Fragebogen die im geschlossenen Format gefundene hohe Teilnehmerzufriedenheit unterstützt.

In einem weiteren Freitextformat wurde durch den Fragebogen ein differenzierter Blick auf die Anbindung der Veranstaltungen an die Schulpraxis geworfen. Bezüglich der Pas-

sung der Veranstaltungen zum eigenen Unterricht konnten ebenfalls induktiv neun Kategorien identifiziert werden, die mit ihrer Häufigkeitsverteilung in Abbildung 7.7 dargestellt sind. Die Aspekte *adäquate Experimente und Unterrichtsmaterialien* nehmen mit zusammen 47 % der Aussagen den Hauptteil der Gründe für eine Unterrichtspassung ein. Insgesamt ergeben sich bei diesen Äußerungen deutliche Parallelen zu Kategorien aus der Interviewstudie. Auch hier wurden die Bereitstellung von Unterrichtsmaterialien und moderne Themen als wichtige Indikatoren für eine angemessene Fortbildung genannt (siehe Tabelle 5.4 in Kapitel 5.5.3). Erwähnenswert sind weiterhin die problematische schulinterne Unterrichtsaufteilung sowie der Fakt, dass einer Lehrerin die Angst vor dem Thema genommen wurde, da sich hier typische Hürden beim Unterrichten fächerübergreifender Naturwissenschaften zeigen (siehe Tabelle 5.3 in Kapitel 5.5.2). Weiterhin zeigt die Untersuchung der Anbindung der Veranstaltungen an die Schulpraxis ebenso wie die Frage nach der Gestaltung des fachlichen Inputs und der Experimentierphase die Schwierigkeiten von zu anspruchsvollen Inhalten und umfangreichen, materialintensiven Experimenten. Mit insgesamt 72 % kann die Passung der Fortbildung als hoch betrachtet werden. Unter Beachtung der Tatsache, dass sich durch eine Fortbildung schulinterne Umsetzungen nicht direkt steuern lassen, geben lediglich 11 % aller Aussagen keine Passung zur Schulpraxis an.

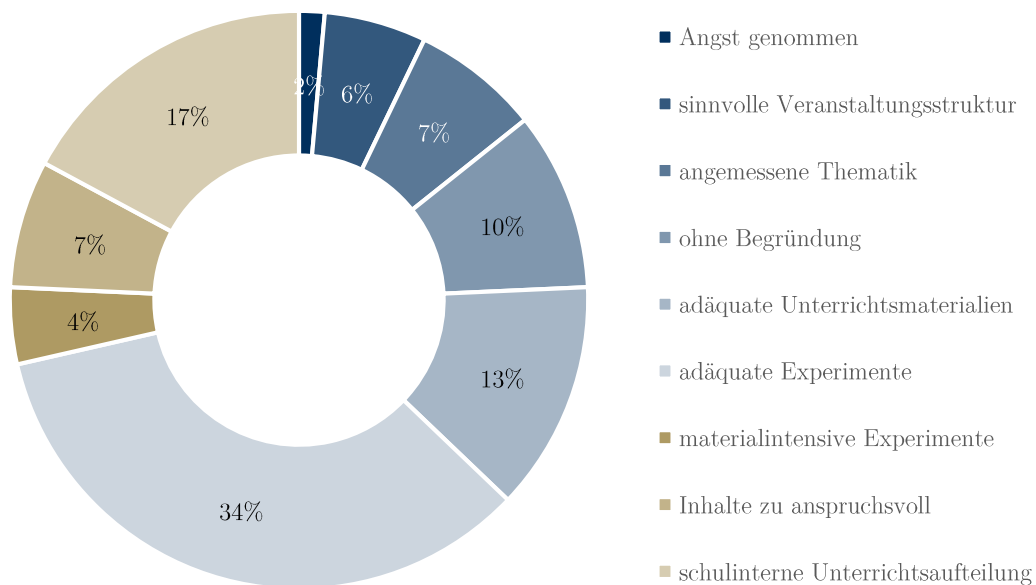


Abbildung 7.7: Kategoriensystem für die Passung der Veranstaltungen zum eigenen Unterricht. Die blauen Segmente geben Äußerungen an, die einer Passung entsprechen, goldene solche, bei denen eine Integration in den Unterricht kritisch bewertet wurde.

Die abschließende Gruppendiskussion bildet den dritten Aspekt der Methodentriangu-

lation für die Variable Teilnehmerzufriedenheit. Das inhaltsanalytisch abgeleitete Kategoriensystem ist in Tabelle 7.2 aufgeführt.

Tabelle 7.2: Kategoriensystem für Ergebnisse der Gruppendiskussion.

<i>Rahmenbedingungen:</i>	
1	angemessene Räumlichkeiten
2	angemessene Veranstaltungslänge (nicht kürzer)
3	starke Belastung durch Organisation als Block
4	angenehme Gruppengröße
5	angenehme Arbeitsatmosphäre
6	Nähe zum Wohnort
<i>Mehrwert durch die Fortbildung:</i>	
7	Austausch und Kontakt mit Kollegen
8	Anregungen für eigenen Unterricht
9	Auffrischen der Fachkenntnisse
10	Training der experimentellen Fertigkeiten
11	Erprobung vieler Experimente
12	Vielzahl an schultauglichen Experimenten und Materialien
13	erschwerte Integration aufwendiger Experimente aufgrund materieller und zeitlicher Ressourcen
14	Zusatzinformationen für Experimente
15	Überblick über fächerübergreifenden Unterricht
<i>Weitere gewünschte Konstruktionskriterien:</i>	
16	Möglichkeiten der Binnendifferenzierung
17	Bildung von Arbeitskreisen
18	inhaltliche Verlaufspläne der einzelnen Fachdisziplinen
19	Verteilung der Veranstaltungen über ein Schuljahr
<i>Beizubehaltende Aspekte der Fortbildung:</i>	
20	angenehme Atmosphäre
21	kompetente Referenten
22	Kombination mehrerer Referenten
23	Verschränkung von Theorie und Praxis
24	selbstständige Arbeit

In Bezug auf die Rahmenbedingungen kann eine generelle Zufriedenheit abgeleitet werden. Der einzige negative Aspekt thematisiert den Blockcharakter der Fortbildung, der als stark arbeitsbelastend empfunden wurde. Zugleich kann abgeleitet werden, dass die Länge der einzelnen Veranstaltungen mit vier Zeitstunden angemessen ist, jedoch auf kei-

nen Fall kürzer sein dürfte. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass unter entsprechenden organisatorischen Gegebenheiten ebenfalls Ganztagsveranstaltungen passend sind.

Die Aussagen über die Aspekte der Fortbildung, die unbedingt beizubehalten sind (Kategorien 20 bis 24), decken sich inhaltlich mit den Angaben des geschlossenen und offenen Formates des Fragebogens. Da zudem bei der Frage nach verbesserungswürdigen Aspekten der Fortbildung von den Lehrkräften keine Aussagen getätigt wurden, lässt sich durch die Kombination der Methoden Gruppendiskussion, Fragebogen mit offenem und geschlossenem Format schlussfolgern, dass die teilnehmenden Lehrkräfte insgesamt eine hohe Zufriedenheit bezüglich der Fortbildung zeigen. Damit kann an dieser Stelle die Fortbildung als wirksam auf der ersten Stufe der Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen bewertet werden.

Die zweite Stufe der Wirksamkeit betrachtet Veränderungen in den Lehrerkognitionen. Eine umfangreiche Untersuchung dieses Konstrukts, das beispielsweise durch das Modell der professionellen Handlungskompetenz von Baumert und Kunter (2006) hätte modelliert werden müssen, ist im Konzept dieser Arbeit nicht leistbar. Nichtsdestotrotz geben die Kategorien 7 bis 15 diesbezüglich einige Trends an. So berichten die Lehrkräfte sowohl von einem Auffrischen der Fachkenntnisse sowie der experimentellen Fertigkeiten, die als große Defizite im fächerübergreifenden Unterricht identifiziert wurden (Fruböse et al., 2011).

Hinsichtlich weiterer Konstruktionskriterien sind vor allem die Kategorien 16 und 17 von Bedeutung. Die Forderung nach Möglichkeiten zur Binnendifferenzierung kann in zwei Kontexten betrachtet werden. Zum einen sind Regelschul- und Gemeinschafts- bzw. Gesamtschullehrkräfte (Spezifikum des Teilnehmerkreises) häufiger mit heterogenen Lerngemeinschaften oder Inklusion konfrontiert (Kemper & Goldan, 2018; Statistisches Bundesamt, 2018). Zum anderen bildet das Themenfeld Inklusion und Heterogenität ein zentrales Leitziel der aktuellen Schulentwicklung sowie Lehrerbildung, wodurch Formen der Binnendifferenzierung nicht nur als Merkmal eines guten Unterrichts, sondern auch einer Demokratiebildung zu bewerten sind (Greiner & Kracke, 2018; Berkemeyer, Bos, Hermstein, Abendroth & Semper, 2017). Diese Kategorie muss vor allem dahin gehend als relevant bewertet werden, da in der Abschlussveranstaltung der Pilotierung die Sprachförderung im Naturwissenschaftsunterricht thematisiert und damit Anteile eines binnendifferenzierten Unterrichts diskutiert wurden. Mit der Kategorie 17 wird ein gänzlich anderes Fortbildungskonzept angesprochen, bei dem Lehrkräfte eher in Form einer Lernwerkstatt in gemeinsamen Austausch- und Arbeitsprozessen neue Unterrichtskonzepte für fächerübergreifende Themen erarbeiten.

Die schriftliche Bewertung der Begleitmaterialien ergab eine hohe Zufriedenheit mit den Materialien. Die wichtigsten Aussagen werden mit Abbildung 7.8 zusammengefasst.

Generell werden die gedruckten und digital bereitgestellten Materialien als hilfreich für den eigenen Unterricht bewertet, da sie die Vorbereitung einer Unterrichtseinheit hinsichtlich eigener fachlicher Wiederholung und Planung von Experimenten verkürzen und durch die didaktischen Hinweise auch individuelle Betreuungen von Schülern zulassen. In diesem Zusammenhang wurden Angaben über weitere fachliche Vertiefungsliteratur gewünscht. Es wurde jedoch angemerkt, dass das Material prinzipiell nicht ohne weitere Überarbeitung in Abhängigkeit von der jeweiligen Schul- und Klassensituation einzusetzen ist. Damit spiegelt die Bewertung des Begleitmaterials die Variation hinsichtlich des gewünschten Fertigungsgrades der Materialien wider, wie sie in der Interviewstudie (siehe Tabelle 5.4 in Kapitel 5.5.3) festgestellt wurde. Zusätzlich mit der Forderung nach Binnendifferenzierung in der Gruppendiskussion wünschen sich die teilnehmenden Lehrkräfte Möglichkeiten zur Differenzierung der Experimente.

Struktureller Aufbau	Zusätzliche Materialien
<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau gut verständlich und übersichtlich • logisch nachvollziehbar • Umfang optimal und kompakt 	<ul style="list-style-type: none"> • Differenzierungsmöglichkeiten für Experimente • Vertiefungsliteratur
Schul-tauglichkeit	Hilfestellung für den Unterricht
<p>Experimentieranleitungen schul-tauglich und schülergerecht, aber Anpassung notwendig hinsichtlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kopierkontingent • Ausstattung an Schule • Zeitressourcen im Unterricht • Klassensituation 	<p>informativ, praktisch und hilfreich, da:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wiederholung relevanter Fachinhalte • Informationen für den Einsatz im Unterricht • Hilfestellung für Experimente • Zeitersparnis hinsichtlich Vorbereitung und individuelle Betreuung von Schülern • Kombiniermöglichkeit mit eigenen Materialien

Abbildung 7.8: Ergebnisse der schriftlichen Bewertung des Begleitmaterials.

7.3.2 Überarbeitung der Fortbildung

Insgesamt hat die Pilotierung eine ausgeprägte Zufriedenheit mit der Fortbildungsgestaltung ergeben, sodass sich für die Hauptstudie (Erprobung) insbesondere inhaltlich keine größeren Veränderungen ergeben. Lediglich das Thema Wasser-Boden-Luft als weiteres Inhaltsfeld für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht und das Thema Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien als Beispiel eines modernen Themas (vgl. Tabelle 5.4 in Kapitel 5.5.3) wurden hinzugefügt.

Organisatorisch wurden, wie auch in Abbildung 7.1 dargestellt, die Veranstaltungen über ein Schuljahr verteilt. Der Forderung nach einer stärkeren Binnendifferenzierung des Materials lässt sich pauschal nur schwer nachkommen, da hierfür in der Regel eine kon-

krete Klassensituation vorliegen muss. Jedoch können Lernmaterialien für Schüler zumindest nach der kognitiven Komplexität grob vorstrukturiert werden, wie es beispielsweise beim Lernwerkzeug der Differenzierungsmatrizen erfolgt (Kutzer, 1999; Sasse & Schulzeck, 2013). Weiterhin konnte die Frage nicht geklärt werden, ob der Wunsch nach stärkerer Differenzierung in der Zusammensetzung des Teilnehmerkreises der Pilotierung begründet und folglich in der Erprobung mit anderer Teilnehmerzusammensetzung weniger gewichtet ist. Aus diesem Grund wird in der Erprobung für die Abschlussveranstaltung die Arbeit mit Differenzierungsmatrizen im Naturwissenschaftsunterricht, die in einer Kooperation mit der Pädagogischen Psychologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena entstanden, als ein Gestaltungselement vorgeschlagen. Tatsächlich wurde sich in der Erprobung in der Abschlussveranstaltung eher ein Bezug auf alltagsorientierten Naturwissenschaftsunterricht gewünscht (siehe Kapitel 6.3.6), sodass das Thema Differenzierung in der Erprobung nicht systematisch diskutiert wurde.

Hinsichtlich des Begleitmaterials konnte die Pilotierung zeigen, dass die Lernmaterialien für Schüler zwar schultauglich, jedoch nicht ohne weitere Adaptionen einsatzfähig sind. Auch wenn nicht explizit der Wunsch geäußert wurde, die Materialien noch konkreter zu gestalten, bleibt die Frage nach einer diesem Zweck adäquaten Umsetzungsmöglichkeit offen. Zum einen werden sich hierbei durch Befragungen von Lehrkräften keine eindeutigen Trends ableiten lassen, da auch die Interviewstudie hinsichtlich des Fertigungsgrades des Materials eine große Meinungsvariation der befragten Lehrkräfte aufzeigte (vgl. Kapitel 5.5.3). Zum anderen erfordert die Konkretisierung von Schülermaterialien ein anderes Fortbildungskonzept, das dem Vorschlag der Bildung von Arbeitskreisen aus der Gruppendiskussion entgegenkommt. Leider konnte eine solche Form der Lehrerfortbildung, die in der Literatur als professionelle Lerngemeinschaften bezeichnet und im angelsächsischen Raum eine lange Tradition haben, nicht mit dem zuständigen Bildungsinstitut Thüringens veranlasst werden. Daher kann dieser Ansatz, bei dem die Verschränkung aus Lehrer- und Schülerlernen gemeinsam mit Unterrichtsentwicklung sehr sinnstiftend bewertet wird, in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt werden (Bonsen & Rolff, 2006).

7.3.3 Ergebnisse der Erprobung

Zur Begleitung der Erprobung wurde, wie in Kapitel 7.2 gezeigt, ein Fragebogen⁴ verwendet, der die Skalen *allgemeine Zufriedenheit*, *Kompetenz des Referenten*, *inhaltliche Gestaltung* und *methodische Gestaltung* beinhaltet. Die Pilotierung hat dabei einige wesentliche Ergebnisse erbracht, die als Items in den zugehörigen Fragebogen integriert wur-

⁴Alle Variablen des Fragebogens werden über eine 4-stufige Likert-Skala ohne Beschriftung der Zwischenantworten erfasst. Die Rückmeldung liegt stets bei 100 %, da jede teilnehmende Lehrkraft einen Fragebogen ausfüllte.

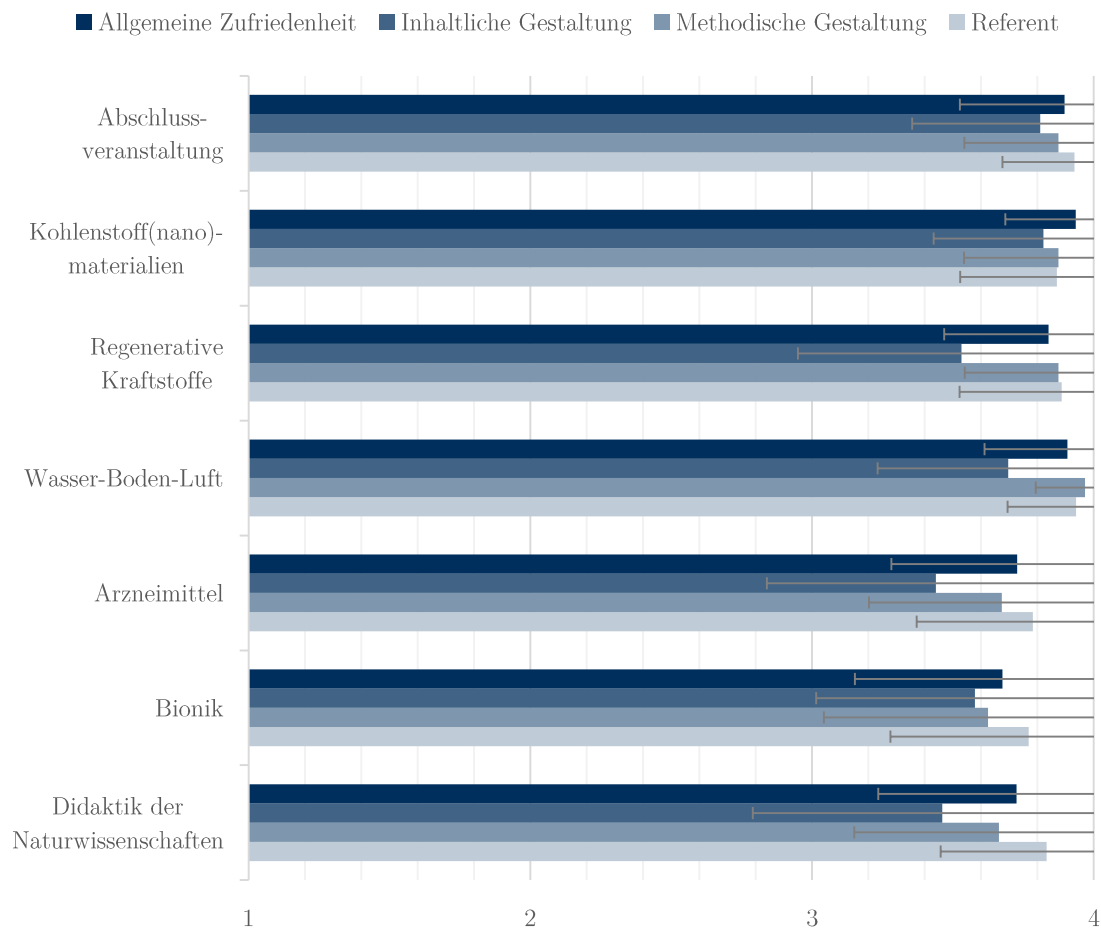


Abbildung 7.9: Ergebnisse der Begleitevaluation der Erprobung. Die Skala ist für die methodische und inhaltliche Gestaltung und für die Kompetenz des Referenten definiert von stimmt nicht (1) bis stimmt genau (4) und für die allgemeine Zufriedenheit von nicht zufrieden (1) bis sehr zufrieden (4). Angegeben sind die Gruppendurchschnittswerte sowie die zugehörigen Standardabweichungen.

den. So wurden aus den Kategorien zum fachlichen Input in Abbildung 7.6 bezüglich der Angaben zum Umfang und Niveau sowie zur Angemessenheit Items wie beispielsweise *Der Umfang der vermittelten Inhalte war angemessen*. formuliert (siehe Fragebogen im A CD18). Auf die gleiche Weise finden sich in den Items der methodischen Gestaltung *Die Veranstaltung bietet genügend Raum für (a) Austausch mit Kollegen, (b) Diskussionen, (c) selbstständige Tätigkeiten*. methodische Elemente des Erfahrungsaustausches aus dem Fragebogen der Pilotierung und der Gruppendiskussion. Eine eindeutige Zuordnung der gefundenen Kategorien in der Begleitevaluation der Pilotierung zu Items des Fragebogens für die Erprobung ist jedoch nicht möglich, da die Ergebnisse der Pilotierung im Arbeitskreis zur Entwicklung des Instrumentes ELBI diskutiert und folglich eher indirekt

integriert wurden.

In Abbildung 7.9 sind die Ergebnisse der Begleitevaluation der Erprobung zusammengefasst. Insgesamt lassen die Daten die Aussage zu, dass die Lehrkräfte in allen vier Bereichen zufrieden bis sehr zufrieden sind. Lediglich für die Themen Didaktik der Naturwissenschaften, Arzneimittel und Regenerative Kraftstoffe ergeben sich größere Schwankungen bezüglich der inhaltlichen Gestaltung, die nahelegen, dass einige Lehrkräfte nicht vollständig zufrieden sind. Hinsichtlich der Themen Arzneimittel und Regenerative Kraftstoffe kann die Vermutung geäußert werden, dass die Ursache hierfür das hohe fachliche Niveau in den Veranstaltungen ist, das bereits in der Pilotierung beim fachlichen Input geäußert wurde. Die Veranstaltung Didaktik der Naturwissenschaften bildet als Einstieg in die Fortbildung noch kein in sich geschlossenes Themenfeld für den Unterricht, sodass hier das Konstruktionskriterium Kontextorientierung (E-1) nicht vollständig erfüllt ist. Weiterhin ist ersichtlich, dass alle Aspekte ab dem Thema Wasser-Boden-Luft höher bewertet wurden als zuvor. Hierfür lassen sich zwei Hypothesen angeben: Zum einen ist es möglich, dass mit steigender Teilnahme die Motivation zur Ausfüllung des Fragebogens abnimmt. Zum anderen kann sich hier auch der Effekt der Gruppengröße bemerkbar machen. Denn für die letzten vier Themen war die Teilnehmerzahl deutlich geringer (siehe Abbildung 7.1). In der Pilotierung, die auch eher wenige Teilnehmer umfasste, wurde die Gruppengröße in der Gruppendiskussion als sehr angenehm empfunden (siehe Kategorie 4 in Tabelle 7.2), da auf diese Weise sämtliche Lehrkräfte die Möglichkeit zur Erprobung aller Experimente hatten.

7.4 Zusammenfassung

In Bezug auf die Forschungsfragen F-1 bis F-4 der vorliegenden Arbeit (siehe Kapitel 4.2) wurde bereits durch die Interviewstudie abgeleitet, dass eine Organisation als zertifizierter Weiterbildungsstudiengang zum Erreichen der gestellten Anforderungen an die Fortbildung notwendig ist. Zur Frage nach den Zielangaben der Fortbildung (F-1) können durch die Pilotierung und Erprobung ergänzend die Bildung von Arbeitskreisen und eine dadurch initiierte schulnahe Materialentwicklung genannt werden. Beide Aussagen stehen in einem Wechselwirkungsverhältnis, da für eine derartige Organisation die ministerielle Unterstützung fehlte. In diesem Zusammenhang kann vor allem die inhaltliche und strukturelle Gestaltung der Fortbildung (F-2), für die durch die Interviewstudie eine Struktur aus Vortrag, Praktikum und Austauschphase an kontextorientierten Themen abgeleitet wurde, um den Aspekt einer eher kleinen Gruppe von Lehrkräften mit kontinuierlicher Teilnahme ergänzt werden.

Die Konstruktion der Begleitmaterialien (F-4) entsprechend der Ergebnisse der Inter-

viewstudie kann durch die schriftliche Bewertung als angemessen betrachtet werden. Auch die Konstruktionskriterien E-1 bis E-4 (siehe Kapitel 4.2) haben sich in der Durchführung der Fortbildung als zielorientiert herausgestellt. Lediglich der bereits diskutierte Aspekt der Differenzierung könnte ein weiteres Merkmal darstellen, wenn die Fortbildung nicht schulartübergreifend, sondern -spezifisch gestaltet wird.

Die Planung der Fortbildung in Abhängigkeit von der Schulform kann tatsächlich als noch zu erprobendes Konstruktionsmerkmal genannt werden. Auch wenn diese Forderung nicht explizit in der Pilotierung genannt wurde, haben sich bezüglich der Aspekte Differenzierung und fachliches Niveau Hypothesen über die Abhängigkeit der Fortbildungsanforderungen von der Schulform ergeben. Unter den Rahmenbedingungen von ProfJL konnte jedoch nur eine Fortbildung konstruiert werden, da für eine die Schulform differenzierende Fortbildung vor allem größere personelle Ressourcen vonnöten gewesen wären. Dies hätte vor allem auch die Möglichkeit von weiteren, den Lernprozess der Lehrkräfte stärker fokussierenden Begleituntersuchungen eröffnet, wie z. B. Beobachtungsprotokollierungen von kooperativen Prozessen zwischen den Lehrkräften oder dem Aufnehmen informeller Gespräche, die einen erheblichen Einfluss auf die prozessbegleitende Adaption von Veranstaltungselementen haben.

Die Begleitevaluationen der Pilotierung und auch der Erprobung haben damit die folgenden zentralen Ergebnisse erbracht:

- Für erfolgreiche Fortbildungen im Sinne einer Praxisanbindung für die Lehrkräfte stellen **Experimente** und zugehörige Vorschriften sowie **Lernmaterialien für Schüler** die entscheidenden Kriterien dar.
- Dies bedeutet jedoch nicht, dass auf theoretische Grundlagen zu verzichten ist. Vielmehr ist darauf zu achten, die fachlichen Bezüge mit den schulischen Umsetzungen in ein enges **Theorie-Praxis-Wechselgefüge** zu stellen.
- Die **Passfähigkeit der fachlichen Tiefe** muss dabei auf die Teilnehmergruppe abgestimmt werden. Da für den Erhalt einer entsprechenden Fachsystematik eine bloße Reduktion der Inhalte jedoch nicht zweckmäßig ist, muss gerade für anspruchsvolle Fachinhalte ein anderes Veranstaltungsformat diskutiert werden. Inhaltlich kann dies beispielsweise bedeuten, chemisches Grundwissen und experimentelle Arbeitsweisen als Leitlinie einer Fortbildung für fächerübergreifendes Unterrichten anzusehen, wie es bei den Chemie-Werkstätten im Land Bremen (siehe Kapitel 2.2) angedacht ist. Allerdings kommt die Fortbildung dann eher einer **Zusatzqualifikation im Sinne eines Studienganges** gleich, die nur durch intensive ministerielle Unterstützung zu gewährleisten ist.
- Strukturell muss daher für die organisatorischen Rahmenbedingungen und folglich

für die inhaltlichen Gestaltungsmöglichkeiten eine intensive **Kooperation zwischen dem Fortbildungsanbieter und dem zuständigen Bildungsministerium** unterstrichen werden.

- Auf diese Weise lässt sich auch die **Angebotsnutzung der Fortbildung auf der ersten Stufe** im Sinne einer weitreichenden Bekanntmachung der Fortbildung intensivieren.
- Jedoch muss festgehalten werden, dass im Sinne einer kompetenten, individuellen Betreuung der Lehrkräfte gerade **kleine Gruppengrößen** für die Klärung fachlicher, fachdidaktischer und experimenteller Fragestellungen zu bevorzugen sind.
- Dies hätte eine Organisation der Fortbildung zum Zwecke der Professionalisierung kleiner Fachkreise mit repetitiver Durchführung der Fortbildung unter Berücksichtigung von Multiplikationseffekten zur Folge. Dazu wären vonseiten der Fortbildungsanbieter umfangreichere **personelle Ressourcen** vonnöten.
- Letztlich kann in Bezug auf die Begleitforschung die **Möglichkeit einer externen Evaluation** in Betracht gezogen werden. Vor allem für Gruppendiskussionen zu evaluativen Zwecken kann so die Anonymität der Lehrkräfte gegenüber der Veranstaltungsleitung erhöht werden. Dabei darf jedoch der **formative Charakter der Evaluation** nicht verloren gehen, durch den die Teilnehmer von einer Weiterentwicklung des Angebotes profitieren.

Abschließend soll bemerkt werden, dass in einem übergreifenden Sinn die einzelnen Konstruktionsschritte *Interviewstudie* (siehe Kapitel 5), *fachdidaktische Erschließung* (siehe Kapitel 6) sowie die *Begleitevaluation der Pilotierung und Erprobung* (dieses Kapitel) die Konstruktion der Fortbildung beschreiben. Diese konnte somit aus den drei Perspektiven *Lehrervorstellungen*, *Sachstruktur* und *Praxiserfahrungen* beleuchtet werden. Auf diese Weise gewährleistet sich durch die durchgeführte Methodentriangulation die interne Validität des Vorhabens. Durch die Reflexion theoretischer Kenntnisse über fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht (siehe Kapitel 2) sowie Befunde zu Merkmalen professioneller Lehrerfortbildungen (siehe Kapitel 3) wird die externe Validität gesichert. Die vorliegende Didaktische Rekonstruktion kann damit im Verständnis der Güte der qualitativen Forschung als abgesichert bezeichnet werden.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die vorliegende Arbeit konnte ein Fortbildungskonzept entwickelt und erprobt werden, das Lehrkräfte fachlich wie fachdidaktisch beim Unterrichten fächerübergreifender Naturwissenschaften unterstützt. Das Kernelement des Projektes war dabei die empirisch begleitete inhaltliche Strukturierung der Fortbildung durch die fachliche Analyse und anschließende Konstruktion von Fortbildungselementen anhand ausgewählter interdisziplinärer Kontexte. Diese wurden von einer Interviewstudie und einem begleitenden Evaluationskonzept umrahmt. Die Arbeit steht dabei im Kontext der seit den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts in Deutschland geführten Diskussion und seit ca. zehn Jahren bildungspolitisch motivierten Implementation fächerübergreifender Curricula. Die daraufhin entwickelten Fortbildungsstrukturen, die in den einzelnen Bundesländern von Einzelveranstaltungen bis hin zu Weiterbildungsstudiengängen reichen, kennzeichnen sich durch eine inhaltliche wie methodische Diversität der bestehenden Angebote. Mit dem Ziel dieser Arbeit, eine Fortbildungsstruktur im Bundesland Thüringen zu entwickeln, wurde daher zu Beginn der Arbeit ein Verständnis des fächerübergreifenden Unterrichts definiert, das die vorhandenen Fachstrukturen der Disziplinen Biologie, Chemie und Physik beibehält und sich Basiskonzepten, naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen sowie Kontexten als Leitlinien zu deren Verknüpfung bedient.

In Anbindung an bestehende Modelle über professionelle Lehrerfortbildungen und empirische Kenntnisse über naturwissenschaftliche Fortbildungen konnten erste Kriterien für die Konstruktion einer Fortbildung für fächerübergreifende Naturwissenschaften abgeleitet werden, wenngleich sich diskrete Fragestellungen in Bezug auf die spezifische Situation in Thüringen ergeben haben. Aus diesem Grund wurde das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Untersuchungsdesign gewählt, da hierbei konzeptionelle sowie empirische Forschung in einem sich gegenseitig ergänzenden Verhältnis stehen. Die in diesem Zuge formulierten Forschungsfragen und Konstruktionskriterien (siehe Kapitel 4.2) sind im Sinne der partizipativen Aktionsforschung direkt in das Konzept der Lehrerfortbildung

eingeflossen. Im Folgenden werden daher in Anbindung an das Angebots-Nutzungs-Modell nach Lipowsky (2010) die folgenden Angebotsmerkmale zusammengefasst, die für die Konstruktion einer Lehrerfortbildung für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht abgeleitet wurden:

I Strukturelle Merkmale

Die Struktur einer Lehrerfortbildung für fächerübergreifende Naturwissenschaften deckt sich mit den allgemeinen Anforderungen an professionelle Lehrerfortbildungen. Mit dem Ziel, Lehrkräfte fachlich wie fachdidaktisch für das Unterrichten interdisziplinärer Fächer zu professionalisieren, ist ein ein bis zwei Schuljahre begleitendes Angebot mit zehn bis 15 Ganztagsveranstaltungen sinnvoll. Organisatorisch sollte der Kurs als zertifizierter Weiterbildungsstudiengang in Kooperation mit den zugehörigen Schulbehörden geplant werden.

II Inhaltliche Merkmale

In erster Linie muss die Fortbildung für physikalische, chemische und biologische Grundlagen eine fachliche Fundierung anbieten, die jedoch in exemplarische Kontexte zu setzen ist, die sich neben einem fächerübergreifenden Fokus auch durch einen erhöhten Forschungsbezug im Sinne moderner Inhalte auszeichnen. Als fachdidaktische Leitlinie eignen sich dabei Experimente als Grundlage für die Diskussion unterrichtspraktischer Umsetzungen. Über die jeweiligen Kontexte hinaus müssen neben den fachwissenschaftlichen Grundlagen begleitend insbesondere die Denk- und Arbeitsweisen der naturwissenschaftlichen Disziplinen fokussiert und Inhalte durch Basis- bzw. Schlüsselkonzepte strukturiert werden. Die Herausforderung von Fortbildungen für fächerübergreifende Naturwissenschaften liegt dabei stets in dem Wechselspiel aus einer fachlichen Ausbildung der Lehrkräfte und der zugehörigen Einbettung in den Unterrichtsalltag. Dabei muss der fachlichen Fundierung stets Vorrang vor fachdidaktischen und pädagogischen Aspekten gewährt werden.

III Methodische Merkmale

In Anbindung an die inhaltlichen Merkmale der Fortbildung muss die methodische Gestaltung vor allem das Erlernen fachlicher Bezüge ermöglichen. Aus diesem Grund kann eine Veranstaltungsstruktur aus Vortrag, Praktikum und Reflexion zugrunde gelegt werden. Die Reflexionsphase sollte durch kooperative Diskussions- und Entwicklungsprozesse vonseiten der Lehrkräfte gekennzeichnet sein, bei der unter Einbezug der Praxiserfahrungen neue Unterrichtskonzepte konstruiert werden. In der Praktikumsphase werden nicht nur die fachlichen Grundlagen des Vortrages angewendet, sondern beispielsweise psychomotorische Fertigkeiten trainiert und individuelle Problemstellungen erörtert.

Grundlegend ließe sich die methodische Gestaltung der Fortbildung durch eine Reihe weiterer Maßnahmen erweitern, die die Anwendung der Fortbildungsinhalte in einem schulischen Setting fokussieren, das Lehrerhandeln und Schülerlernen reflektieren und die Entwicklung konkreter Unterrichtskonzepte diskutieren. Auf diese Weise kann hinsichtlich der Begleitforschung der Blick auf die Veränderungen im unterrichtspraktischen Handeln der Lehrkräfte sowie den Kompetenzerwerb der Schülerinnen und Schüler gelegt werden. Die Forderung nach einer Untersuchung der Effekte der konstruierten Fortbildung auf allen Ebenen der Wirksamkeit stellt damit einen zukünftigen Arbeitsschwerpunkt dar, dem auf Grundlage der inhaltlichen Rekonstruktion der vorliegenden Arbeit nachzugehen ist. Mit den Ergebnissen dieser Arbeit lassen sich dahin gehend die folgenden Maßnahmen empfehlen, die ausgehend von dem hier entwickelten Fortbildungskonzept zur Professionalisierung von Lehrkräften für fächerübergreifenden Unterricht beitragen:

(a) Kooperation zwischen allen Akteuren der Lehrerfortbildung

Zur Bildung eines zertifizierten Weiterbildungsstudienganges für integrierte Naturwissenschaften ist die Kooperation aus Universität als Fortbildungsanbieter, dem zuständigen ministeriellen Institut für Lehrerfortbildung sowie den beteiligten Lehrkräften von elementarer Bedeutung. In diesem Zusammenhang hat die Bandbreite an möglichen Fortbildungsthemen aufgezeigt, dass die integrierten Curricula hinsichtlich grundlegender Lernziele und Kompetenzen zu konkretisieren und stärker auf die Fachdisziplinen abzustimmen sind. Die geforderte Kooperation erlaubt dabei auch die Entwicklung von Lehrbüchern und die Einrichtung von Lehrerfachkreisen, die fachdidaktisch begleitet und ministeriell gefördert werden. Ohne ein entsprechendes Unterstützungssystem, das neben der Professionalisierung der Lehrkräfte durch Fortbildungen schulinterne Ressourcen zum Aufbau von naturwissenschaftlichen Fachsammlungen sowie intensiver Kooperationen der einzelnen Fachschaften und damit einer angemessenen Freistellungs- bzw. Abminderungspraxis bereitstellt, scheitert die Implementation der hier entwickelten Konzepte an strukturellen Hürden.

(b) Verknüpfung aller Phasen der Lehrerbildung

Sollen Lehrkräfte dauerhaft auf das Unterrichten integrierter Fächer vorbereitet werden, muss die universitäre Ausbildung von Lehramtsstudierenden um fächerübergreifende Angebote erweitert werden. Eine professionelle Umstrukturierung des Lehramtsstudiums würde neben einem interdisziplinären Didaktikseminar auch die Bereitstellung chemischer, physikalischer und biologischer Fachveranstaltungen nach sich ziehen, die entweder an bestehende Module anzuknüpfen oder durch ein *Studium*

generale Naturwissenschaften zu ersetzen sind. Den organisatorischen Hindernissen eines solchen Ausbildungskonzeptes steht die Verschränkung der Lehrerbildungsphasen entgegen, durch die Lehrkräfte und Studierende sowie ggf. Lehramtsanwärter begleitet durch Fachwissenschaftler und Fachdidaktiker gemeinsam Problemfelder integrierten Unterrichts bearbeiten, wodurch sich vor allem individuelle Bedürfnisse der Teilnehmenden berücksichtigen lassen. Allerdings erfordert diese Form der Professionalisierung in erster Linie einen gemeinsamen Konsens aller Akteure der Lehrerbildung über Inhalte, Organisationsformen und vor allem Leitziele sowie eine grundlegende Bereitschaft zur Weiterentwicklung des fächerübergreifenden Unterrichts.

(c) *Entwicklung eines Nachhaltigkeitskonzeptes*

Die bisherigen Diskussionen zeigen auf, dass die Ergebnisse der konstruierten Fortbildung in ein Nachhaltigkeitskonzept einzubetten sind. Neben der Implementation eines zertifizierten Weiterbildungsstudienganges oder einer Umgestaltung des Lehramtsstudiums lassen sich die Inhalte in Form von Einzelfortbildungen an das bestehende Chemielehrerfortbildungszentrum der Friedrich-Schiller-Universität Jena anbinden. Im Folgeprojekt von ProfJL (PROFJL²) werden die Ergebnisse der ersten Förderphase, die neben den hier entwickelten Inhaltsfeldern auch ein Seminarkonzept für die universitäre Ausbildung beinhalten, in eine Lernwerkstatt übertragen, in der Studierende und Lehrkräfte mit Fachwissenschaftlern moderne Naturwissenschaftsthemen rekonstruieren und in einem schulischen Setting erproben. Auf diese Weise wird das Fortbildungskonzept nachhaltig in die Struktur *Professioneller Lerngemeinschaften* mit dem Ziel überführt, eine Fokussierung der *Forschungsorientierung* im Naturwissenschaftsunterricht zu intensivieren.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass sich die vorliegende Arbeit in die Diskussion des fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts eingliedert und wesentliche Beiträge für die Professionalisierung der Lehrkräfte und der Fortbildungsstrukturen leistet.

Anhang A

Digitaler Anhang

Für den digitalen Anhang, siehe die der Arbeit beiliegende CD.

- CD1: Aufstellung der Fortbildungen zu fächerübergreifenden Naturwissenschaften bundesweit 2017
- CD2: Qualitative Inhaltsanalyse zur Frage 1: Welche Merkmale hat guter fächerübergreifender Naturwissenschaftsunterricht?
- CD3: Qualitative Inhaltsanalyse zur Frage 2: Welche Defizite gibt es für Lehrkräfte beim Unterrichten fächerübergreifender Naturwissenschaften?
- CD4: Qualitative Inhaltsanalyse zur Frage 3: Welche Anforderungen müssen an eine adäquate Weiterbildung für fächerübergreifende Naturwissenschaften gestellt werden?
- CD5: Vergleich zwischen Erst- und Zweitkodierung bezüglich Frage 1
- CD6: Vergleich zwischen Erst- und Zweitkodierung bezüglich Frage 2
- CD7: Vergleich zwischen Erst- und Zweitkodierung bezüglich Frage 3
- CD8: Broschüre Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien
- CD9: Stoffverteilungsplan Kohlenstoff(nano)materialien
- CD10: Didaktik der Naturwissenschaften - Materialien
- CD11: Bionik - Materialien
- CD12: Arzneimittel - Materialien
- CD13: Wasser-Boden-Luft - Materialien
- CD14: Regenerative Kraftstoffe - Materialien

- CD15: Abschlussveranstaltung: Leichte Sprache - Materialien
- CD16: Abschlussveranstaltung: Naturwissenschaften im Alltag - Materialien
- CD17: ELBI-123: Evaluationsinstrument für Veranstaltungen in der Lehrer/innenbildung für die 1., 2. und 3. Phase [Fragebogen]
- CD18: Veranstaltungsevaluation Erprobung
- CD19: Veranstaltungsevaluation Pilotierung

Anhang B

Interviewleitfaden

Einführung

- Begrüßung und Dankeschön aussprechen
- Einverständniserklärung
- Hinweis geben: Ich mache mir ggf. Notizen (eigene Gedankengänge, Anschlussfragen)
- wichtig: Es gibt kein richtig oder falsch.
- kurze Darstellung des Projektes

Sozioökonomische Daten

- Alter
- Dienstjahre (mir Referendariat)
- Schulform
- Fächerkombination
- Unterricht in MNT (wenn ja, wie lang)
- Unterricht in NT oder NWuT (wenn ja, wie lang)

Was ist für Sie guter fächerübergreifender Naturwissenschaftsunterricht? (Fokus nicht auf die spezifischen Unterrichtsfächer lenken)

- Fachwissen des Lehrers
- fachdidaktisches Wissen des Lehrers (inhaltliche Konzepte, fachdidaktische Konzepte, Methoden)
- aktuelles Material

- Kontext- und Alltagsbezug
- Einstellung des Lehrers zu fächerübergreifendem Unterricht
- Art der Inhalte: echte Probleme, Fragen an die Natur
- Kooperation mit anderen Lehrern

Welche Hürden sehen Sie bei sich selbst (oder bei Kollegen), was das Unterrichten fächerübergreifender Fächer angeht?

- fachlich (hohes fachliches Niveau sehr wichtig)
- fachdidaktisch (Basiskonzepte aus den Einzeldisziplinen, Schülervorstellungen etc.)
- praktisch (vor allem experimentell)

Wie würden Sie sich eine gelungene Weiterbildung/ Fortbildung für diese neuen Fächer (MNT, NWuT etc.) vorstellen?

- Umfang
- Inhalte (fachlich/ fachdidaktisch/ experimentell, Lehrplan, Niveau der Darstellung)
- Begleitmaterialien
- Gestaltung/ Methodik (Eigenanteile, Erfahrungsaustausch, Gestaltung von Unterricht)

Falls Sie abschließende Fragen oder Hinweise haben, dürfen Sie diese gern jetzt anbringen.

Anhang C

Regeln der Zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring

Regeln entnommen aus (Mayring, 2014, S. 68) und (Mayring & Fenzl, 2014)

Regeln für die Paraphrasierung:

- Cut all the text components which are not content-bearing or only minimally so, such as embellishing, repetitive, or explanatory expressions.
- Transpose the content-bearing parts of the text on to a uniform stylistic level.
- Transform them into a grammatically abbreviated form.

Regeln für die Generalisierung:

- Generalize the referents of the paraphrases to the defined level of abstraction, so that the old referents are implied in the newly formulated ones.
- Generalize the sentence kernels (predicates) in the same way.
- Leave those paraphrases standing which are above the intended level of abstraction.
- In cases of doubt make use of theoretical preconceptions.

Regeln für die Erste Reduktion:

- Cut semantically identical paraphrases within units of evaluation.
- Cut paraphrases which are not felt to add substantially to the content on the new level of abstraction.
- Adopt the paraphrases which continue to be thought of as vitally content-bearing (selection).
- Resolve cases of doubt with the aid of theoretical preconceptions.

Regeln für die Zweite Reduktion:

- Combine paraphrases with identical or similar referents and similar statements to form one paraphrase (binding).
- Combine paraphrases with several statements on the same referent into one (construction/integration).
- Combine paraphrases with identical or similar referents and differing statements into one paraphrase (construction/integration).
- Resolve cases of doubt with the aid of theoretical preconceptions.

Regeln für den Re-Test:

- Check if all paraphrases are represented in the final categories.
- Read through the final categories and check if the summary makes sense. Possibly reorder the categories.

Anhang D

Kategoriensystem der Interviewergebnisse nach der Erstkodierung

Tabelle D.1: Frage 1: Merkmale guten fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterrichts.

Kategorie	Titel
B-R'1	Lehrer: Zusammenarbeit mehrerer Fachkollegen (über fachliche und fachdidaktische Aspekte, Vorkenntnisse der Schüler, das Anforderungsniveau, Unterrichtsplanung neuer Inhalte)
B-R'2	adäquates Unterstützungssystem (Multiplikationssystem neuer Unterrichtskonzepte, Aus- und Fortbildungsstrukturen, zeitliche Freiräume zur Entwicklung neuer Unterrichtskonzepte)
B-R'3	Lehrer: ausreichend Berufserfahrung
B-R'4	Lehrer: adäquates fachdidaktisches Wissen
B-R'5	Lehrer: adäquates Fachwissen
B-R'6	Lehrer: positive Einstellung und Begeisterung für fächerübergreifenden Unterricht
B-R'7	Lehrer: Bereitschaft zu erhöhtem Arbeitsaufwand
B-R'8	Schulorganisation: Abdeckung möglichst vieler Fachdisziplinen (Tandemunterricht, Lehrer mit passenden Fachkombinationen)
B-R'9	Schulorganisation: adäquate Räumlichkeiten mit Laborausstattung und modernen Medien
B-R'10	gute Abstimmung zwischen Fachunterricht und fächerübergreifendem Unterricht
B-R'11	Lernmaterialien für Lehrer (Selbststudium, Hinweise für Experimente)
B-R'12	gute Lehrpläne (untereinander abgestimmt, konkret, schülerorientiert)
B-R'13	Lernmaterialien für Schüler (gut strukturiert, aktuell)
B-R'14	Unterrichtsgestaltung: Einbezug mehrerer Wissensebenen (Vorwissen, mehrere Fachdisziplinen)
B-R'15	Unterrichtsgestaltung: inhaltliche Schwerpunktsetzung
B-R'16	Unterrichtsgestaltung: motivierende Inhalte (aktuell, regional, interessenorientiert, alltagsorientiert)
B-R'17	Unterrichtsgestaltung: hoher Grad an Schülerselbsttätigkeit

Tabelle D.2: Frage 2: Defizite bei fächerübergreifendem Naturwissenschaftsunterricht.

Kategorie	Titel
C-R'1	unzureichendes Unterstützungssystem (Ausbildung, Fortbildung, zeitliche Entlastung)
C-R'2	Lehrer: unzureichende Zusammenarbeit mehrerer Fachkollegen
C-R'3	Bedenken bei Unterricht durch fachfremde Lehrer im eigenen Fachraum
C-R'4	Lehrer: mangelndes Fachwissen
C-R'5	Lehrer: mangelndes fachdidaktisches Wissen
C-R'6	Lehrer: mangelndes experimentelles Wissen
C-R'7	Lehrer: Unsicherheit der Lehrpersonen (bei fachfremden Experimenten, bei der Nutzung von Lernmaterialien)
C-R'8	Lehrer: negative Einstellung für fächerübergreifenden Unterricht
C-R'9	Lehrer: fehlende Arbeitsbereitschaft
C-R'10	schlechte Unterrichtsqualität (oberflächlich, wenig abgestimmt mit Kollegen, nicht auf Klassenstufe angepasst)
C-R'11	Lehrplan: schlechte Altersangemessenheit der Themen
C-R'12	Lehrplan: schlechte Abstimmung untereinander (inhaltliche Dopplungen zwischen Fach- und fächerübergreifendem Unterricht)
C-R'13	Lehrplan: geringe Qualität fächerübergreifender Lehrpläne (unstrukturiert, nicht überarbeitet, zu allgemein)
C-R'14	unzureichende räumliche Ressourcen (kaum Experimente, da kein Fachraum oder große Klassen, Sicherheitsprobleme)
C-R'15	unzureichende zeitliche Ressourcen (im Unterricht z. B. für Experimente, hohe Arbeitsbelastung für Lehrer)
C-R'16	unzureichende Lernmaterialien für Schüler
C-R'17	unzureichende Lernmaterialien für Lehrer

Tabelle D.3: Frage 3: Anforderungen an eine gelungene Fortbildung für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht. Teil 1.

Kategorie	Titel
D-R'1	Organisation: schulartspezifisch
D-R'2	Organisation: Abminderungsstunden
D-R'3	Organisation: Zertifikat
D-R'4	Organisation: kurzer Anfahrtsweg
D-R'5	Organisation: Freiwilligkeit der Maßnahme (variiert)
D-R'6	Organisation: Umfang (variiert von eher wenigen, kurzen bis viele, längere Veranstaltungen)
D-R'7	Begleitmaterial: digital und abwandelbar
D-R'8	Begleitmaterial (Lehrermaterial): Stoffverteilung/ Grobplanung
D-R'9	Begleitmaterial (Lehrermaterial): Sachanalyse (variiert hinsichtlich Niveau)
D-R'10	Begleitmaterial (Lehrermaterial): Darstellung der naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken
D-R'11	Begleitmaterial (Lehrermaterial): angezieltes Schülerwissen
D-R'12	Begleitmaterial (Lehrermaterial): fachliche und fachdidaktische Hinweise für Schülermaterialien/ Experimente
D-R'14	Begleitmaterial: Experimentieranleitungen mit Lösungen
D-R'15	Begleitmaterial: Lernmaterialien für Schüler (variiert hinsichtlich Fertigungsgrad)

Tabelle D.4: Frage 3: Anforderungen an eine gelungene Fortbildung für fächerübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht. Teil 2.

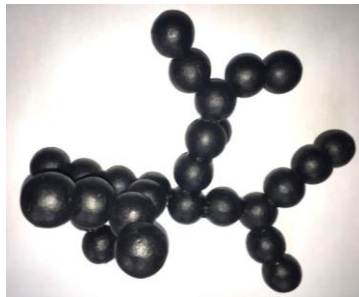
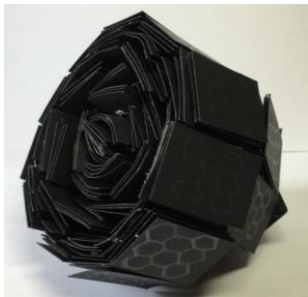
Kategorie	Titel
D-R'16	Inhalt: Beschaffung von Arbeits- und Selbststudiumsressourcen
D-R'17	Inhalt (fachlich): fachlicher Hintergrund (variiert in Niveau)
D-R'18	Inhalt (fachlich): naturwissenschaftliche Methodiken
D-R'19	Inhalt (fachlich): Fachbegriffe
D-R'20	Inhalt: Aufzeigen möglicher Experimente (eher einfach, günstig, Alternativen)
D-R'21	Inhalt (fachdidaktisch): Aufzeigen von Umsetzungsideen im Unterricht (keine fertigen Unterrichtsstunden)
D-R'22	Inhalt (fachdidaktisch): Aufzeigen des angezielten Schülerwissens
D-R'23	Inhalt (fachdidaktisch): fachdidaktischer Hintergrund
D-R'24	Inhalt (fachdidaktisch): Stoffverteilungspläne (für fächerübergreifenden Unterricht und Fachunterricht)
D-R'25	Inhalt (fachlich): moderne Themen
D-R'26	methodisch: Lehrplanbezug
D-R'27	methodisch: kontinuierliche, unterrichtsbegleitende Gestaltung (variiert bis nicht aufeinander aufbauend)
D-R'28	methodisch (Veranstaltungsstruktur): Erprobung von Experimenten (in lockerer Atmosphäre)
D-R'29	methodisch (Veranstaltungsstruktur): Fachlicher Input/ Vortrag
D-R'30	methodisch (Veranstaltungsstruktur): kollektive Arbeit (Austausch mit Kollegen)
D-R'31	methodisch (Veranstaltungsstruktur): kollektive Arbeit (gegenseitiges Erklären in Fachtandems)
D-R'32	methodisch (Veranstaltungsstruktur): kollektive Arbeit (Erstellung von Unterrichtsmaterial)
D-R'33	methodisch (Veranstaltungsstruktur): kollektive Arbeit (Präsentation eigener Materialien) (variiert bis Gegenteil)
D-R'34	methodisch: Praxisbezug (exemplarisches Vorgehen, Arbeit an konkreten Inhalten, Zeitersparnis für Lehrer)

Anhang E

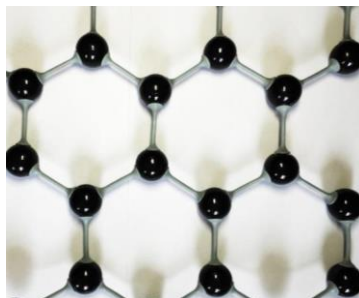
Modelle verschiedener Kohlenstoffmaterialien



Modell der Aktivkohle



Modell des Industrierußes:
Primärteilchen (links) und
Aggregat (rechts)



Modell der Kohlenstofffaser
(links) und des Graphens
(rechts)

Abbildung E.1: Modelle von Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien. Die Modelle wurden abgesehen von dem des Graphens aus Papier, einem Schwamm und Styroporkugeln selbst gebaut.

Anhang F

Leitfaden für die Gruppendiskussion

Die Anstriche unter den Fragen dienen der Impulsgebung bei Stockung des Gespräches.

Bitte beurteilen Sie die Rahmenbedingungen der Veranstaltung.

- Teilnehmerzahl
- zeitlicher Umfang der Einzelveranstaltungen
- Umfang des gesamten Blockes
- Uhrzeit

Was hat Ihnen die Fortbildung gebracht?

Die Fortbildung (inklusive der Begleitmaterialien) wurde nach bestimmten Schwerpunkten konstruiert (Schwerpunkte nennen). Welche weiteren Schwerpunktsetzungen hätten Sie sich gewünscht?

Schwerpunkte:

- fachliche Vertiefung
- fachdidaktische Vertiefung
- Lehrplanbezug
- Mitgestaltungsmöglichkeit für die Teilnehmer

Wenn Sie nochmals an einer Fortbildung für fächerübergreifenden Unterricht teilnehmen würden, welche zusätzlichen Kriterien wären Ihnen wichtig?

- Planung und Diskussion eigener Unterrichtseinheiten
- durch Videografie begleitete Durchführung einer Unterrichtsstunde, die während der Weiterbildung geplant wurde und anschließende Auswertung der Stunde im Plenum auf Grundlage der Videografie
- Vorstellung eigener Unterrichtskonzepte zu einem fächerübergreifenden Thema
- Erstellung von konkreten Unterrichtsmaterialien (Arbeitsblätter, Lernhilfen, etc.)
- Wahlmöglichkeiten zwischen mehreren Einzelveranstaltungen
- generelle Mitgestaltungsmöglichkeiten an der Weiterbildung

Welche Aspekte der Weiterbildung haben Ihnen gefallen und sollten unbedingt bei solch einer Veranstaltung beibehalten werden?

Welche Aspekte betrachten Sie als weniger gelungen und sind verbesserungswürdig? Wie könnten Verbesserungen aussehen?

Literaturverzeichnis

- Aldorf, A.-M. (2016). *Lehrerkooperation und die Effektivität von Lehrerfortbildungen*. Wiesbaden: Springer.
- Allen, M. J., Tung, V. C. & Kaner, R. B. (2010). Honeycomb Carbon: A Review of Graphene. *Chemical Review*, 110, 132–145.
- Allothman, Z. (2012). A Review: Fundamental Aspects of Silicate Mesoporous Materials. *Materials*, 5 (12), 2874–2902.
- Ansorge-Grein, K. (2010). *Qualität und Qualitätsmanagement in der universitären naturwissenschaftlichen Lehrerfortbildung* (Dissertation). Goethe-Universität in Frankfurt am Main, Frankfurt.
- Ansorge-Grein, K., Patzke, B. & Bader, H. J. (2009). Qualitätsentwicklung in der Lehrerfortbildung. Anforderungen und Wirklichkeit. *CHEMKON*, 16 (3), 119–124.
- Atkins, P. W. & de Paula, J. (2013). *Physikalische Chemie* (5. Aufl.). Weinheim: WILEY-VCH.
- Autorengruppe der DPG. (2016a). *Physik in der Schule Anlage Basiskonzepte. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.* Zugriff auf <http://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/schulstudie-2016/schulstudie-basiskonzepte.pdf> (DPG - Deutsche Physikalische Gesellschaft. Eingesehen am 02.03.2018)
- Autorengruppe der DPG. (2016b). *Physik in der Schule Hauptteil. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.* Zugriff auf <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/schulstudie-2016/schulstudie-hauptteil-2016-11-17.pdf> (DPG - Deutsche Physikalische Gesellschaft. Eingesehen am 24.01.2018)
- AVK (Hrsg.). (2010). *Handbuch Faserverbundkunststoffe. Grundlagen, Verarbeitung, Anwendung*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner. (AVK - Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V.)
- Balasubramanian, K. & Burghard, M. (2011). Chemie des Graphens. *Chemie in unserer Zeit*, 45, 240–249.
- Banilower, E. R., Heck, D. J. & Weiss, I. R. (2007). Can Professional Development Make the Vision of the Standards a Reality? The Impact of the National Science Founda-

- tion's Local Systemic Change Through Teacher Enhancement Initiative. *Journal of Research in Science Teaching*, 44 (3), 375–395.
- Banszerus, L. (2010). *Herstellung von Graphen – Eine Anleitung für Lehrer*. Zugriff auf https://jufo.stmg.de/2010/Graphene/Anleitung_Graphenherstellung.pdf (Eingesehen am 13.02.2019)
- Banszerus, L., Schmitz, M., Engelsand, S., Dauber, J., Oellers, M., Haupt, F., ... Stampfer, C. (2015). Ultrahigh-mobility graphene devices from chemical vapor deposition on reusable copper. *Science Advances*, 1 (6).
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin: Springer.
- Bauer, H. F. (1992). Elementarisierung – ein Kernproblem des Chemieunterrichts. In P. Pfeifer, K. Häusler & B. Lutz (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (1. Aufl., S. 197–208). München: Oldenbourg.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Handlungskompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9 (4), 469–520.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I., ... Neubrand, J. (1997). *TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske + Budrich.
- Bautista, A. & Ortega-Ruiz, R. (2015). Teacher Professional Development: International Perspectives and Approaches. *Psychology, Society & Education*, 7 (3), 240–251.
- Bena, C. & Montambaux, G. (2009). Remarks on the tight-binding model of graphene. *New Journal of Physics*, 11. Zugriff auf <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/11/9/095003/pdf> (Eingesehen am 01.11.2018)
- Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching. *Science Education*, 91 (3), 347–370.
- Berkemeyer, N., Bos, W., Hermstein, B., Abendroth, S. & Semper, I. (2017). *Chancenspiegel – eine Zwischenbilanz. Zur Chancengerechtigkeit und Leistungsfähigkeit der deutschen Schulsysteme seit 2002*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
- Bertau, M., Müller, A., Fröhlich, P. & Katzberg, M. (2013). *Industrielle Anorganische Chemie* (4. Aufl.). Weinheim: WILEY-VCH.
- Besser, M., Leiss, D. & Blum, W. (2015). Theoretische Konzeption und empirische Wirkung einer Lehrerfortbildung am Beispiel des mathematischen Problemlösens. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 36 (2), 285–313.
- Birman, B. F., Desimone, L., Porter, A. C. & Garet, M. S. (2000). Designing professional development that works. *Educational Leadership*, 57, 359–370.
- BLK. (1997). *Heft 60 – Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“*. Zugriff auf

- <http://www.blk-bonn.de/papers/heft60.pdf> (BLK - Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung. Eingesehen am 22.02.2018)
- Bonsen, M. & Rolff, H.-G. (2006). Professionelle Lerngemeinschaften von Lehrerinnen und Lehrern. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52 (2), 167–184.
- Borko, H. (2004). Professional development and teacher learning: Mapping the terrain. *Educational Researcher*, 33 (8), 3–15.
- Bortz, J. & Döring, N. (2003). *Forschungsmethoden und Evaluation* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bröll, L. & Friedrich, J. (2012). Zur Qualifikation der Lehrkräfte für den NWA-Unterricht. *MNU*, 65 (3), 180–186.
- Büchner, W., Schliebs, R., Winter, G. & Büchel, K. H. (1986). *Industrielle Anorganische Chemie* (2. Aufl.). Weinheim: WILEY-VCH.
- Busch, M. (2016). *Empirische Studien zum fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht. Kompetenzförderung, Interessenentwicklung, Wahlmotive und Lehrerperspektive* (Dissertation). Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena.
- Busch, M. & Woest, V. (2014). Fächerübergreifenden NaWi-Unterricht - Potenzial und Grenzen aus Lehrerperspektive. In S. Bernholt (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* (S. 423–425). Kiel: IPN.
- Busch, M. & Woest, V. (2016). Potenzial und Grenzen von fächerübergreifendem naturwissenschaftlichem Unterricht. Empirische Befunde zur Lehrerperspektive. *MNU*, 69 (4), 269–277.
- Cabot. (o.J.). *Rußspezialitäten*. Zugriff auf <http://www.cabotcorp.de/solutions/products-plus/specialty-carbon-blacks> (Eingesehen am 08.11.2018)
- Cheah, K., Simon, G. P. & Forsyth, M. (2001). Effects of polymer matrix and processing on the conductivity of polymer blends. *Polymer International*, 50, 27–36.
- Cirkel, J., Eggert, S., Bögeholz, S. & Schneider, S. (2017). Zertifikatsstudium Fächerübergreifendes Unterrichten in den Naturwissenschaften. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 55–57.
- Clarke, D. & Hollingsworth, H. (2002). Elaborating a model of teacher professional growth. *Teaching and Teacher Education*, 18, 947–967.
- Clarkson, C., Bustin, R. & Levy, J. (1997). Application of the mono/multilayer and adsorption potential theories to coal methane adsorption isotherms at elevated temperature and pressure. *Carbon*, 35 (12), 1689–1705.
- Cochran-Smith, M. & Lytle, S. (1999). Relationships of knowledge and practice: teacher learning in communities. *Review of Research in Education*, 24 (2), 251–307.
- Colorado State University. (o.J.). *Colorado Higher-Education Interdisciplinary Program*. Zugriff auf <http://csu-gk12.engr.colostate.edu/> (Eingesehen am 28.06.2018)
- Cormas, P. C. & Barufaldi, J. P. (2007). Effective research-based characteristics of profes-

- sional development: A mixed methods study. *Paper presented at the annual meeting of the American educational research association*. (Chicago, IL)
- Cormas, P. C. & Barufaldi, J. P. (2011). The Effective Research-Based Characteristics of Professional Development of the National Science Foundation's GK-12 Program. *Journal of Science Teacher Education*, 22 (3), 255–272.
- Cornelsen Verlag GmbH. (2010a). *Versuch: Adsorption von Dichlormethandämpfen*. Zugriff auf <http://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/a-v-011.htm> (Eingesehen am 11.02.2019)
- Cornelsen Verlag GmbH. (2010b). *Versuch: Rückgewinnung von adsorbierten Lösemitteln*. Zugriff auf <http://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/a-v-013.htm> (Eingesehen am 11.02.2019)
- CUNA-Autorengruppe. (1981). *Unterrichtsbeispiele zu Natur und Technik in der Sekundarstufe I. Ergebnisse aus dem Cuna-Programm*. Köln: Aulis-Verlag Deubner. (Cuna - Curriculumentwicklung Naturwissenschaften)
- Darling-Hammond, L. & McLaughlin, M. (1995). Policies that support professional development in an era of reform. *Phi Delta Kappan*, 76, 597–604.
- Dato, A., Radmilovic, V. & Frenklach, M. (2011). Synthesis, Characterization and Biomedical Applications of Graphene. In C. S. S. R. Kumar (Hrsg.), *Nanomaterials for the Life of Sciences. Carbon Nanomaterials* (Bd. 9, S. 69–85). Weinheim: WILEY-VCH.
- Daus, J., Pietzner, V., Höner, K., Scheuer, R., Melle, I., Neu, C., ... Bader, H. J. (2004). Untersuchung des Fortbildungsverhaltens und der Fortbildungswünsche von Chemielehrerinnen und Chemielehrern. *CHEMKON*, 11 (2), 79–85.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2008). Self-Determination Theory: A Macrotheory of Human Motivation, Development, and Health. *Canadian Psychology*, 49 (3), 182–185.
- DeGEval. (2008). *Standards für Evaluation* (4. Aufl.). Mainz. Zugriff auf https://www.degeval.org/fileadmin/user_upload/Sonstiges/STANDARDS_2008-12.pdf (Eingesehen am 20.03.2019)
- Demtröder, W. (2006). *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme* (4. Aufl.). Berlin: Springer.
- Demuth, R., Ralle, B. & Parchmann, I. (2005). Basiskonzepte – eine Herausforderung für den Chemieunterricht. *CHEMKON*, 12 (2), 55–60.
- Deng, S. & Berry, V. (2016). Wrinkled, rippled and crumpled graphene: an overview of formation mechanism, electronic properties, and applications. *Materials Today*, 19 (4), 197–212.
- Desimone, L. M. (2009). Improving Impact Studies of Teachers' Professional Development: Toward Better Conceptualizations and Measures. *Educational Researcher*, 38 (3), 181–199.
- Desimone, L. M. & Garet, M. S. (2015). Best Practices in Teachers' Professional Deve-

- lopment in the United States. *Psychology, Society & Education*, 7 (3), 252–263.
- Desimone, L. M. & Stuckey, D. (2014). Sustaining professional development. In L. Martin, S. Kragler, D. Quatroche & K. Bauserman (Hrsg.), *Handbook of professional development in education: Successful models and practices, prek-12* (S. 467–482). New York, NY: Guilford Publications.
- Deutscher Bildungsrat. (1969). Einrichtung von Schulversuchen mit Gesamtschulen. *Empfehlungen der Bildungskommission*.
- Ditton, H. (2000). Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung in Schule und Unterricht. Ein Überblick zum Stand der empirischen Forschung. In A. Helmke, W. Hornstein & E. Terhart (Hrsg.), *Qualität und Qualitätssicherung im Bildungsbereich; Schule, Sozialpädagogik, Hochschule*. (S. 73–92). Weinheim: Beltz.
- Dohmen, G. (2001). *Das informelle Lernen. Die internationale Erschließung einer bisher vernachlässigten Grundform menschlichen Lernens für das lebenslange Lernen aller*. Bonn. Zugriff auf http://www.werkstatt-frankfurt.de/fileadmin/Frankfurter_Weg/Fachtagung/BMBF_Das_informelle_Lernen.pdf (Eingesehen am 30.01.2018)
- Dörjes, A. (2001). Erfahrungen mit dem integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht. *MNU*, 54 (4), 230–232.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin: Springer.
- Dressing, T. & Pehl, T. (2018). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende* (8. Aufl.). Marburg.
- EDK (Hrsg.). (2011). *Grundkompetenzen für die Naturwissenschaften. Nationale Bildungsstandards*. Zugriff auf http://edudoc.ch/record/96787/files/grundkomp_nawi_d.pdf (EDK - Schweizerische Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektorien. Eingesehen am 27.03.2018)
- Eigler, S. & Hirsch, A. (2014). Chemie an Graphen und Graphenoxid - eine Herausforderung für Synthesechemiker. *Angewandte Chemie*, 126 (30), 7852–7872.
- Eilks, I. & Ralle, B. (2002). Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. *CHEMKON*, 9 (1), 13–18.
- Elias, D. C., Gorbachev, R. V., Mayorov, A. S., Morozov, S. V., Zhukov, A. A., Blake, P., ... Geim, A. K. (2011). Dirac cones reshaped by interaction effects in suspended graphene. *Nature Physics*, 7, 701–704.
- Elias, H.-G. (2003). *Makromoleküle. Anwendungen von Polymeren* (6. Aufl.). Weinheim: WILEY-VCH.
- Engelmann, P., Hoffmann, C. & Woest, V. (2018). Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Aus- und Weiterbildung von Lehrerinnen und Lehrern. In A. Gröschner,

- M. May & I. Winkler (Hrsg.), *Lehrerbildung in einer Welt der Vielfalt. Befunde und Perspektiven eines Entwicklungsprojekts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Engelmann, P. & Woest, V. (2017). Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Weiterbildung von Lehrkräften. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen* (S. 82–85). Regensburg: gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.
- Everett, D. H. & Powl, J. C. (1976). Adsorption in Slit-like and Cylindrical Micropores in the Henry's Law Region. A Model for the Microporosity of Carbons. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, 72 (0), 619–636.
- Fang, Q.-R., Makal, T. A., Young, M. D. & Zhou, H.-C. (2010). RECENT ADVANCES IN THE STUDY OF MESOPOROUS METAL-ORGANIC FRAMEWORKS. *Comments on Inorganic Chemistry*, 31 (5-6), 165–195.
- Fischler, H. (1978). Integrierter Unterricht in den Naturwissenschaften. In W. Northemann (Hrsg.), *Politisch-gesellschaftlicher Unterricht in der Bundesrepublik* (S. 287–300). Wiesbaden: Springer.
- Flemming, M., Ziegmann, G. & Roth, S. (1995). *Faserverbundbauweisen. Fasern und Matrices*. Berlin: Springer.
- Freise, G. (1985). Methodisch-mediales Handeln im Lernbereich Natur. In G. Otto & W. Schulz (Hrsg.), *Enzyklopädie Erziehungswissenschaft* (Bd. 4, S. 280–306). Klett-Cotta.
- Frey, K. & Häußler, P. (1973). *Integriertes Curriculum Naturwissenschaft. Theoretische Grundlagen und Ansätze. Bericht über das 4. IPN-Symposion*. Weinheim: Beltz.
- Fruböse, C., Illgen, J., Kohm, L. & Wollscheid, R. (2011). Unterricht im integrierten Fach Naturwissenschaften. Erfahrungen aus gymnasialer Sicht. *MNU*, 64 (7), 433–439.
- Fuhrmann, E. (1997). Lehrerfortbildung in den neuen Bundesländern. In A. Kell & J.-H. Olbertz (Hrsg.), *Vom Wünschbaren zum Machbaren. Erziehungswissenschaft in den neuen Bundesländern* (S. 172–192). Weinheim.
- Fussangel, K., Rürup, M. & Gräsel, C. (2016). Lehrerfortbildung als Unterstützungssystem. In H. Altrichter & K. M. Merki (Hrsg.), *Handbuch Neue Steuerung im Schulsystem 7* (S. 361–384). Wiesbaden: Springer.
- Garet, M. S., Porter, A. C., Desimone, L. M., Birman, B. F. & Yoon, K. S. (2001). What Makes Professional Development Effective? Results From a National Sample of Teachers. *American Educational Research Journal*, 38 (4), 915–945.
- GDCh. (o. J.). *Fortbildung für Chemielehrer*. Zugriff auf <https://www.gdch.de/index.php?id=555> (GDCh - Gesellschaft Deutscher Chemiker. Eingesehen am 11.08.2018)
- GDCh. (2005). *Stärkung der naturwissenschaftlichen Bildung. Empfehlungen der Fach-*

- gruppe Chemieunterricht der GDCh für einen durchgängigen naturwissenschaftlichen Unterricht von der Grundschule bis zum Fachunterricht der weiterführenden Schulen. Zugriff auf https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Netzwerk_und_Strukturen/Fachgruppen/Chemieunterricht/nawi_2005.pdf (GDCh - Gesellschaft Deutscher Chemiker. Eingesehen am 22.02.2018)
- GDNÄ – Bildungskommission. (2010). *Allgemeinbildung durch Naturwissenschaften. Denkschrift der GNDÄ – Bildungskommission (erste Ausgabe 2002, erweiterte Ausgabe 2007)*. Zugriff auf http://www.gdnae.de/wp-content/uploads/2015/02/Kurzfassung_Denkschrift_deutsch.pdf (GDNÄ - Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte. Eingesehen am 22.02.2018)
- Gebhard, U., Höttecke, D. & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften. Ein Studienbuch*. Weinheim: Springer.
- Göb, N. (2018). *Wirkungen von Lehrerfortbildungen. Eine explorative Betrachtung von Fortbildungstypen und deren Effekte auf die Teilnehmenden am Beispiel des Pädagogischen Landesinstituts Rheinland-Pfalz*. Weinheim: Beltz Juventa.
- Goktas, M., Bolli, C., Berg, E. J., Novák, P., Pollok, K., Langenhorst, F., ... Adelhelm, P. (2018). Graphite as Cointercalation Electrode for Sodium-Ion Batteries: Electrode Dynamics and the Missing Solid Electrolyte Interphase (SEI). *Advanced Energy Materials*, 8 (16), 1702724.
- Grasser, A. (2010). *Integrierte Naturwissenschaft. Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Projektunterrichts* (Dissertation). Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena.
- Grasser, A. & Woest, V. (2008). LEONARDO-PROJEKT-JENA. Anfangsunterricht Naturwissenschaft. In D. Höttecke (Hrsg.), *Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung* (S. 98–100). Berlin: LIT-Verlag.
- Grasser, A. & Woest, V. (2010). Naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht in Thüringen – Konzeption, Akzeptanz, Interessen- und Kompetenzentwicklung. In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik* (S. 293–295). Berlin: LIT-Verlag.
- Graube, G., Mammes, I. & Tuncsoy, M. (2013). Natur und Technik in der gymnasialen Orientierungsstufe. Zur Notwendigkeit eines interdisziplinären Ansatzes. *MNU*, 66 (3), 176–179.
- Greiner, F. & Kracke, B. (2018). Fit für Inklusion?! Entwicklung und Erprobung curricularer Bausteine für das Lehramtsstudium. In A. Gröschner, M. May & I. Winkler (Hrsg.), *Lehrerbildung in einer Welt der Vielfalt. Befunde und Perspektiven eines Entwicklungsprojekts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Grob, U. & Maag Merki, K. (2001). *Überfachliche Kompetenzen. Theoretische Grundlegung und empirische Erprobung eines Indikatorensystems*. Bern: Peter Lang.
- Gröschner, A., May, M. & Winkler, I. (Hrsg.). (2018). *Lehrerbildung in einer Welt der Viel-*

- falt. Befunde und Perspektiven eines Entwicklungsprojekts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Grotekaes, M. (2005). *Industrieruße*. Zugriff auf <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-09-00598> (Eingesehen am 07.11.2018)
- Guskey, T. R. (2000). *Evaluating Professional Development*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Guskey, T. R. (2002). Does It Make a Difference? Evaluating Professional Development. *Educational Leadership*, 59 (6), 45–51.
- Hackl, G. (2007). *Optimierung des Interfaces in kohlenstofffaserverstärkten Verbundwerkstoffen durch CVD-Beschichtung von Kohlenstoffkurzfasern* (Dissertation). Universität Erlangen–Nürnberg, Erlangen.
- Haenisch, H. (1990). Evaluation in der Lehrerfortbildung: Ziele, Verfahrensweisen, Beispiele. *Forum Lehrerbildung*, 15, 5–51.
- Hamilton, L. S., McCaffrey, D. F., Stecher, B. M., Klein, S. P., Robyn, A. & Bugliari, D. (2003). Studying Large-Scale reforms of Instructional Practice: An Example from Mathematics and Science. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 25 (1), 1–29.
- Hargreaves, D. H. (1994). The new professionalism: The synthesis of professional and institutional development. *Teaching and teacher Education*, 10, 423–438.
- Häsing, P. (2009). *Fächerübergreifender Unterricht in der gymnasialen Oberstufe aus Sicht der Lehrenden. Eine qualitative Studie*. Kassel: kassel university press.
- Häußler, P. (1973). Bisherige Ansätze zu disziplinübergreifenden naturwissenschaftlichen Curricula. eine Übersicht. In K. Frey & P. Häußler (Hrsg.), *Integriertes Curriculum Naturwissenschaft. Theoretische Grundlagen und Ansätze. Bericht über das 4. IPN-Symposium* (S. 31–69). Weinheim: Beltz.
- Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W. & Mayer, J. (1998). *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung: Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN.
- Heidenreich, R. D., Hess, W. M. & Ban, L. L. (1968). A Test Object and Criteria for High Resolution Electron Microscopy. *Journal of Applied Crystallography*, 1 (1), 1–19.
- Heimlich, R. (1983). Aspekte einer Methodik der Lehrerfortbildung. In B. Hermann, H. Klippert, R. Heimlich & M. Deckwerth (Hrsg.), *Ganzheitliche Lehrerfortbildung: Begründung, Konzeption, Praxisberichte*. Stuttgart: Burg-Verlag.
- Helmke, A. (2012). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität* (4. Aufl.). Seelze: Klett Kallmeyer.
- Herdt, C. (2017). Strukturorientierung – ein Schlüsselkonzept. Ein Plädoyer für die zentrale Position der gedanklichen und medialen Veranschaulichung der Modellebene im Chemieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 66 (1), 14–19.

- Hericks, U. (1993). *Über das Verstehen von Physik. Physikalische Theoriebildung bei Schülern der Sekundarstufe II*. Münster: Waxmann.
- Hiller-Ketterer, I. & Hiller, G. G. (1997). Fächerübergreifendes Lernen in didaktischer Perspektive. In L. Duncker & W. Popp (Hrsg.), *Über Fachgrenzen hinaus. Chancen und Schwierigkeiten des fächerübergreifenden Lehrens und Lernens* (S. 166–195). Heinsberg: Dieck.
- Hoffmann, C. & Woest, V. (2018). Ausbildung für fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht. Schwerpunkt: Vorstellungen von der Natur der Naturwissenschaften. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen* (S. 78–81). Regensburg: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.
- Höld, R. (2009). Zur Transkription von Audiodaten. In R. Buber & H. H. Holzmüller (Hrsg.), *Qualitative Marktforschung. Konzepte – Methoden – Analysen* (2. Aufl., S. 655–668). Wiesbaden: Gabler.
- Hössle, C., Parchmann, I. & Komorek, M. (2009). *Naturwissenschaften im Kontext*. Beiträge zum Mathematikunterricht. Zugriff auf https://www.mathematik.tu-dortmund.de/ieem/cms/media/BzMU/BzMU2009/Beitraege/Hauptvortraege/HOESSLE_PARCHMANN_KOMOREK_2009_Naturwissenschaften.pdf (Eingesehen am 24.01.2018)
- Huang, X. (2009). Fabrication and Properties of Carbon Fibers. *Materials*, 2 (4), 2369–2403.
- Huber, L. & Effe-Stumpf, G. (1994). Der fächerübergreifende Unterricht am Oberstufen-Kolleg. Versuch einer historischen Einordnung. In U. Krause-Isermann, J. Kupsch & M. Schumacher (Hrsg.), *Perspektivenwechsel. Beiträge zum fächerübergreifenden Unterricht für junge Erwachsene* (Bd. 38, S. 63–86). Arbeitsmaterialien aus dem Bielefelder Oberstufen-Kolleg.
- Huber, S. G. (2011). Leadership for Learning – Learning for Leadership: The Impact of Professional Development. In T. Townsend & J. MacBeath (Hrsg.), *International Handbook of Leadership for Learning. Part 1* (Bd. 25, S. 635–652). Heidelberg: Springer.
- Huber, S. G. & Radisch, F. (2010). Wirksamkeit von Lehrerfort- und -weiterbildung. Ansätze und Überlegungen für ein Rahmenmodell zur theoriegeleiteten empirischen Forschung und Evaluation. In W. Böttcher, J. N. Dicke & N. Hoglebe (Hrsg.), *Evaluation, Bildung und Gesellschaft. Steuerungsinstrumente zwischen Anspruch und Wirklichkeit* (S. 337–354). Münster: Waxmann.
- Hübinger, R. & Sumfleth, E. (2006). *Mein Körper und ich auf Weltreise. Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht für die Klassen 5/6*. Zugriff auf http://www.scheringstiftung.de/images/stories/pdf/060427_Lehrer.pdf (Eingesehen

am 22.02.2018)

- Hydro-Ingeniere. (2012). *Kläranlage Bad Oeynhausen. Einsatz von Aktivkohle/ alternative Verfahrenstechniken. Vorplanung. Erläuterungsbericht.* Zugriff auf https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/tx_mmkresearchprojects/Abschlussbericht_klaieranlage_oeynhausen.pdf (Eingesehen am 14.11.2018)
- IQSH. (2015). *Fachcurriculum: Angewandte Naturwissenschaften.* Zugriff auf <https://faecher.lernnetz.de/faecherportal/index.php?key=2&wahl=10127&auswahl=112> (IQSH - Institut für Qualitätsentwicklung an Schulen Schleswig-Holstein. Eingesehen am 20.09.2018)
- IQSH. (2018). *Fort- & Weiterbildung. Schuljahr 2018/2019.* Zugriff auf https://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/IQSH/Publikationen/PDFDownloads/Unterrichtsentwicklung/Downloads/fortbildungsverzeichnis.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (IQSH - Institut für Qualitätsentwicklung an Schulen Schleswig-Holstein. Eingesehen am 20.09.2018)
- Ishigami, M., Chen, J. H., Cullen, W. G., Fuhrer, M. S. & Williams, E. D. (2007). Atomic Structure of Graphene on SiO₂. *Nano Letters*, 7 (6), 1643–1648.
- IUPAC. (2014). *Compendium of Chemical Terminology. Gold Book.* Zugriff auf <https://goldbook.iupac.org/pdf/goldbook.pdf> (IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. Eingesehen am 07.11.2018)
- Jeanpierre, B., Oberhauser, K. & Freeman, C. (2005). Characteristics of Professional Development That Effect Change in Secondary Science Teachers' Classroom Practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (6), 668–690.
- Johnson, D. J. (1987). Structure-property relationships in carbon fibres. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 20 (3), 286–291.
- Jürgensen, F. & Schieber, M. (2001). Zur Beliebtheit eines integrierten Fachs Naturwissenschaften. *MNU*, 54 (8), 489–496.
- Kaiser, R. L. (2008). *Bipolarplatten für Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen aus thermisch und elektrisch hochleitfähigen thermoplastischen Kunststoffen: Rezeptierung, Herstellung, Charakterisierung und Anwendung* (Dissertation). Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Karger-Kocsis, J. (2014). Werkstoffe. In M. Neitzel, P. Mitschang & U. Breuer (Hrsg.), *Handbuch Verbundwerkstoffe. Werkstoffe, Verarbeitung, Anwendung* (S. 31–71). München: Hanser.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), 3–18.
- Kemper, T. & Goldan, J. (2018). Schulerfolg von Schülerinnen und Schülern mit sonderpädagogischem Förderbedarf. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, 69 (8), 361–372.

- Kirkpatrick, D. L. (1970). Evaluation of Training. In P. L. Browning (Hrsg.), *Evaluation of Short-Term Training in Rehabilitation. Oregon Studies in the Rehabilitation of the Retarded* (Bd. 3, S. 35–56). Rehabilitation Research and Training Center in Mental Retardation.
- Kirschner, S., Hofmann, J., von Aufschnaiter, C. & Beyer, A. (2018). Fortbildungswünsche von hessischen Physiklehrkräften. *MNU Journal*, 71 (4), 265–270.
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik: zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. Weinheim: Beltz.
- KMK. (1973). *Abkommen zwischen den Ländern der Bundesrepublik zur Vereinheitlichung auf dem Gebiet des Schulwesens. (Vom 28.10.1964 in der Fassung vom 14.10.1971)*. Zugriff auf https://web.archive.org/web/20121015152131/http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1964/1964_10_28_Hamburger_Abkommen.pdf (KMK - Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. Eingesehen am 13.02.2018)
- KMK (Hrsg.). (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Luchterhand. (KMK - Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland)
- KMK (Hrsg.). (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Luchterhand. (KMK - Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland)
- KMK (Hrsg.). (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Luchterhand. (KMK - Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland)
- Knöß, T. (2009). Elektrisch leitfähige Kunststoffrohrleitungen für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen. *Joining Plastics*, 3 (1), 28–34.
- Koberstein, E., Lakatos, E. & Voll, M. (1971). Zur Charakterisierung von Rußen und hochdispersen Kieselsäuren. *Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie*, 75 (10).
- Korte, S. (2014). *Ladungstransport durch Graphenschichten und GaAs-Nanodrähte untersucht mit einem Multispitzen-Rastertunnelmikroskop* (Dissertation). RWTH Aachen University, Aachen.
- Krainer, K. (1996). Probleme und Perspektiven der Lehrerfortbildung. In G. Kadunz, H. Kautschitsch, G. Ossimitz & E. Schneider (Hrsg.), *Schriftenreihe der Mathematik* (Bd. 23, S. 205–230). Wien: Trends und Perspektiven: Beiträge zum 7. Internationalen Symposium zur „Didaktik der Mathematik“.

- Kremer, A. & Stäudel, L. (1992). Integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht an Gesamtschulen. Zur Renaissance einer Reformidee. *Pädagogik*, 44 (7/8), 56–61.
- Kremer, A. & Stäudel, L. (1997). Zum Stand des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Bundesrepublik Deutschland – Eine vorläufige Bilanz –. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), 52–66.
- Kubelka, P. (1954). Adsorption und Kapillarkondensation an Aktivkohle. *Kolloid-Zeitschrift*, 135 (2), 96–101.
- Küster, J. M. (2014). Integrierter Naturwissenschaftlicher Unterricht. *MNU*, 67 (2), 109–112.
- Kutzer, R. (1999). Überlegungen zur Unterrichtsorganisation im Sinne strukturorientierten Lernens. In H. Probst (Hrsg.), *Mit Behinderungen muss gerechnet werden: der Marburger Beitrag zur lernprozessorientierten Diagnostik, Beratung und Förderung*. Jarick Verlag Oberbiel.
- Labudde, P. (2003). Fächerübergreifender Unterricht in und mit Physik: eine zu wenig genutzte Chance. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2 (1), 48–66.
- Labudde, P. (2014). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht – Mythen, Definitionen, Fakten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20 (1), 11–19.
- Labudde, P., Heitzmann, A., Heiniger, P. & Widmer, I. (2005). Dimensionen und Facetten des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts: ein Modell. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11 (11), 103–115.
- Labudde, P. & Möller, K. (2012). Stichwort: Naturwissenschaftlicher Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15 (1), 11–36.
- Lantz, O. & Kass, H. (1987). Chemistry Teachers' Functional Paradigms. *Science Education*, 71 (1), 117–134.
- Lauterbach, R. (1992). Praxis integrierter naturwissenschaftlicher Grundbildung. In P. Häußler (Hrsg.), *Physikunterricht und Menschenbildung* (S. 251–268). Kiel: IPN.
- Lee, C., Wei, X., Kysar, J. W. & Hone, J. (2008). Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene. *Science*, 321, 385–388.
- Leman, J. (1928). *Elementumwandlung Atomzertrümmerung. Von Alchemie zur physikalischen Chemie. Ein kurzer gemeinverständlicher Überblick über die Betrachtung der anorganischen Natur im Altertum, im Mittelalter und in der Neuzeit*. Urania-Verlags-Gesellschaft.
- Liebermann, A. (1995). Practices that support teacher development. *Phi Delta Kappan*, 76, 591–596.
- Lincoln, Y. S. & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic Inquiry*. Newbury Park: Sage.
- Lin-Klitzing, S. (2011). *Lehrerfortbildung zum offenen Unterricht. Ein empirischer Vergleich verschiedener Durchführungsformen*. Schneider Verlag.

- Lipowsky, F. (2009). Unterrichtsentwicklung durch Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen für Lehrpersonen. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 27 (3), 346–360.
- Lipowsky, F. (2010). Lernen im Beruf – Empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildung. In F. Müller, A. Eichenberger, M. Lüders & J. Mayr (Hrsg.), *Lehrerinnen und Lehrer lernen – Konzepte und Befunde zur Lehrerfortbildung* (S. 51–72). Münster: Waxmann.
- Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2012). Lehrerinnen und Lehrer als Lerner – Wann gelingt der Rollentausch? Merkmale und Wirkungen wirksamer Lehrerfortbildungen. *Schulpädagogik heute*, 3 (5), 1–17.
- LISUM. (2015). *Rahmenlehrplan für die Jahrgangsstufen 1 - 10 der Berliner und Brandenburger Schulen. Teil C Naturwissenschaften (5/6)*. Zugriff auf https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_C_Nawi_5-6_2015_11_16_web.pdf (LISUM - Landesinstitut für Schule und Medien Berlin-Brandenburg. Eingesehen am 03.07.2018)
- Litt, T. (1959). *Naturwissenschaft und Menschenbildung*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Loucks-Horsley, S., Hewson, P. W., Love, N. & Stiles, K. E. (1998). *Designing professional development for teachers of science and mathematics*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Lowell, S., Shields, J. E., Thomas, M. A. & Thommes, M. (2004). *Characterization of Porous Solids and Powders: Surface Area, Pore Size and Density*. Dordrecht: Springer.
- Lutz, B. & Bader, H. J. (2003). *Naturwissenschaftliches Arbeiten*. Zugriff auf http://sinus-bayern.de/userfiles/3_Nat_Arbeiten/Nat_Arbeiten.pdf (Eingesehen am 28.02.2018)
- Maaß, C. (2015). *Leichte Sprache. Das Regelbuch*. Berlin: LIT.
- Marx, L. (2017). Schlüsselkonzepte – Chemieunterricht mithilfe von Leitideen planen und gestalten. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 66 (1), 10–14.
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine Anleitung zu qualitativem Denken*. Weinheim: Beltz.
- Mayring, P. (2014). *Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution*. Klagenfurt. Zugriff auf <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>
- Mayring, P. & Fenzl, T. (2014). *Summarizing. Step model & rules*. QCAmapp. Zugriff auf <https://www.qcamap.org/Content/downloads/step-model-summarizing.pdf>
- MBWJK. (2010). *Rahmenlehrplan Naturwissenschaften für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz. Klassenstufe 5 und 6*. Zugriff auf <https://lehrplaene.bildung-rp.de/> (MBWJK - Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur.

Eingesehen am 03.07.2018)

- MBWWK. (2011). *Rahmenlehrplan für die Fächer Hauswirtschaft und Sozialwesen, Technik und Naturwissenschaft und Wirtschaft und Verwaltung*. Zugriff auf https://wpf.bildung-rp.de/fileadmin/user_upload/wpf-rsplus.bildung-rp.de/Rahmenbedingungen/Rahmenplan_E_Druckfassung_16_Januar__2012.pdf (MBWWK - Ministerium für Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur. Eingesehen am 19.09.2018)
- Medenbach, L., Escher, I., Köwitsch, N., Armbrüster, M., Zedler, L., Dietzek, B. & Adelhelm, P. (2018). Sulfur Spillover on Carbon Materials and Possible Impacts on Metal-Sulfur Batteries. *Angewandte Chemie International Edition*, 57 (41), 13666–13670.
- Merck. (2018). *Carbon Nanotubes - Internetshop*. Zugriff auf <https://www.sigmaaldrich.com/materials-science/material-science-products.html?TablePage=16376687> (Eingesehen am 12.11.2018)
- Mermin, N. D. (1968). Crystalline Order in Two Dimensions. *Physical Review*, 176 (1), 250–254.
- Mermin, N. D. & Wagner, H. (1966). Absence of ferromagnetism or antiferromagnetism in one- or two-dimensional isotropic Heisenberg Models. *Physical Review Letters*, 17 (22), 1133–1136.
- Meschede, D. (2006). *Gerthsen Physik* (23. Aufl.). Berlin: Springer.
- Metzger, S. (2010). Die Naturwissenschaften fächerübergreifend vernetzen. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.–9. Schuljahr* (S. 29–44). Bern: Haupt Verlag.
- Meyer, H. (2004). *Was ist guter Unterricht*. Berlin: Cornelsen.
- Meyer, J. C., Geim, A. K., Katsnelson, M. I., Novoselov, K. S., Booth, T. J. & Roth, S. (2007). The structure of suspended graphene sheets. *Nature*, 446, 60–63.
- Michels, B., Kruger, J. & Eijkelhof, H. (2011). *Development of a New Interdisciplinary Advanced Science Course: Nature, Life & Technology*. Zugriff auf <http://betavak-nlt.nl/dmedia/media/site-files/19faf/4f1cc/3d021/5596c/7e017/ESERA-2011-proceeding-NLT.pdf> (Eingesehen am 29.06.2018)
- Milatz, A., Engelmann, P., Greiner, F., Hoffmann, C., Mende, L., Reichel, J., ... Zühlsdorf, F. (2018). *ELBI-123: Evaluationsinstrument für Veranstaltungen in der Lehrer/innenbildung für die 1., 2. und 3. Phase [Fragebogen]*. unveröffentlichtes Instrument.
- Minor, E. C., Desimone, L. M., Lee, J. C. & Hochberg, E. D. (2016). Insights on How to Shape Teacher Learning Policy: The Role of Teacher Content Knowledge in Explaining Differential Effects of Professional Development. *Education Policy Analysis Archives*, 24 (61).

- Mitchell, J., Roger, L., Gonzalez, R., Bitter, C., Webb, N. & White, P. (2003). Evaluation of the National Science Foundation Graduate Teaching Fellows in K-12 Education (GK-12) Program. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association*. (Chicago, IL)
- MNU. (2003). Lernen und Können im naturwissenschaftlichen Unterricht. Denkanstöße und Empfehlungen zur Entwicklung von Bildungs-Standards in den naturwissenschaftlichen Fächern (Sekundarbereich I). *MNU*, 56 (5). (MNU - Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts. Einhefter)
- MNU. (2004). Naturwissenschaften besser verstehen, Lernhindernisse vermeiden. Anregungen zum gemeinsamen Nutzen von Begriffen und Sprechweisen in Biologie, Chemie und Physik (Sekundarbereich I). *MNU*, 57 (4). (MNU - Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts. Einhefter)
- MNU. (2015). *MNU-Standpunkt*. Zugriff auf http://www.mnu.de/images/presse/Standpunkt_MNU_150125.pdf (MNU - Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts. Eingesehen am 29.03.2018)
- MNU. (2019). *Positionen. MNU-Positionen zum fachübergreifenden Unterricht in den MINT-Fächern*. Zugriff auf <https://www.mnu.de/fachbereiche/fachuebergreifender-unterricht> (MNU - Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts. Eingesehen am 03.04.2019)
- Munárriz Arrieta, J. (2013). *Modelling of Plasmonic and Graphene Nanodevices* (Dissertation). Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Nachtigall, W. (2002). *Bionik, Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler* (2. Aufl.). Berlin: Springer.
- Nan, C.-W., Shen, Y. & Ma, J. (2010). Physical Properties of Composites Near Percolation. *Annual Review of Materials Research*, 40, 131–151.
- National Academy of Sciences. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press. Zugriff auf <https://www.csun.edu/science/ref/curriculum/reforms/nses/nses-complete.pdf> (Eingesehen am 28.06.2018)
- National Commission on Excellence in Education: United States Department of Education. (1983). *A Nation at Risk: The Imperative for Educational Reform*.
- National Science Foundation. (2009). *Program Solicitation NSF 09-549*. Zugriff auf <http://ehrweb01.aaas.org/gk12-new/files/2010/04/nsf09549.pdf> (Eingesehen am 27.06.2018)
- National Science Foundation. (2013). *The Power of Partnerships. A Guide from the Graduate STEM Fellows in K-12 Education (GK-12) Program*. Zugriff auf http://www.gk12.org/files/2013/07/GK-12_updated.pdf (Eingesehen am 28.06.2018)

- Nationales MINT Forum (Hrsg.). (2015). *Kontinuierliche professionelle Entwicklung: Thesen zu einer zeitgemäßen Fortbildung und Personalentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern in den MINT-Fächern*. München: Herbert Utz Verlag.
- Nentwig, P., Demuth, R., Parchmann, I., Gräsel, C. & Ralle, B. (2007). Chemie im Kontext: Situating Learning in Relevant Contexts while Systematically Developing Basic Chemical Concepts. *Journal of Chemical Education*, 84 (9), 1439–1444.
- Nentwig, W., Bacher, S. & Brandl, R. (2011). *Ökologie kompakt* (3. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Neto, A. H. C., Guinea, F., Peres, N. M. R., Novoselov, K. S. & Geim, A. K. (2009). The electronic properties of graphene. *Reviews of Modern Physics*, 81 (1), 109–162.
- Neu, C. & Melle, I. (1998). Die Fortbildung von Chemielehrerinnen und -lehrern. Gegenwärtige Situation und Möglichkeiten zur Veränderung. *CHEMKON*, 5 (4), 181–186.
- Neumann, K., Fischer, H. & Sumfleth, E. (2008). Vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen im Chemie- und Physikunterricht. In E.-M. Lankes (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 141–151). Münster: Waxmann.
- Niebert, K. & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121–132). Berlin Heidelberg: Springer.
- Niedderer, H., von Rhöneck, C., Duit, R. & Riquarts, K. (1974). *IPN Curriculum Physik. Unterrichtsmaterialien für die Orientierungsstufe. Der elektronische Stromkreis*. Stuttgart: Klett.
- Nir, A. E. & Bogler, R. (2008). The antecedents of teacher satisfaction with professional development programs. *Teaching and Teacher Education*, 24 (2), 377–386.
- Parchmann, I. (2013). Wissenschaft Fachdidaktik. – Eine besondere Herausforderung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 31 (1), 31–41.
- Parchmann, I., Demuth, R., Ralle, B., Paschmann, A. & Huntemann, H. (2001). Chemie im Kontext – Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 50 (1), 5–7.
- Pennig, D. (2005). *Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Konzepts zur Lehrerfortbildung und Lehrerausbildung* (Dissertation). Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena.
- Penuel, W. R., Fishman, B. J., Yamaguchi, R. & Gallagher, L. P. (2007). What Makes Professional Development Effective? Strategies That Foster Curriculum Implementation. *American Educational Research Journal*, 44 (4), 921–958.
- Pfeifer, P. (2003). Was heißt „naturwissenschaftliches Arbeiten“? *Unterricht Chemie*, 76/77 (14), 7–11.
- Phiri, J., Gane, P. & Maloney, T. C. (2017). General overview of graphene: Production,

- properties and application in polymer composites. *Materials Science and Engineering B*, 215, 9–28.
- Picht, G. (1965). *Die deutsche Bildungskatastrophe, Analyse und Dokumentation*. München: Deutscher Taschenbuchverlag.
- Pietzner, V., Scheuer, R. & Daus, J. (2004). Fragebogenstudie zum Fortbildungsverhalten von Chemielehrerinnen und -lehrern. In H. J. Bader, K. Höner & I. Melle (Hrsg.), *Frankfurter Beiträge zur Didaktik der Chemie* (Bd. 3). Frankfurt am Main: Schutt.
- PINC. (1978). *Natur und Produktion im Unterricht. Biologie, Chemie, Physik in der Sekundarstufe I*. Weinheim: Beltz. (PINC - Projektgruppe Integriertes Naturwissenschaftliches Curriculum)
- Popp, W. (1997). Die Spezialisierung der Zusammenhänge als regulatives Prinzip der Didaktik. In L. Duncker & W. Popp (Hrsg.), *Über Fachgrenzen hinaus. Chancen und Schwierigkeiten des fächerübergreifenden Lehrens und Lernens* (S. 135–154). Heinsberg: Dieck.
- Ralle, B. & Di Fuccia, D.-S. (2014). Aktionsforschung als Teil fachdidaktischer Entwicklungsforschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 43–55). Berlin: Springer.
- Recher, P. & Trauzettel, B. (2010). Mit Tesafilm nach Stockholm. *Physik Journal*, 9 (12), 22–24.
- Redaktion SozNat (Hrsg.). (1982). *Naturwissenschaftlicher Unterricht in der Gegenperspektive* (Bd. 1 Reihe SozNat: Mythos Wissenschaft). Braunschweig: Agentur Pedersen.
- Rehm, M., Bündler, W., Haas, T., Buck, P., Labudde, P., Brovelli, D., ... Svoboda, G. (2008). Legitimationen und Fundamente eines integrierten Unterrichtsfachs *Science*. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 99–124.
- Reinfried, S., Mathis, C. & Kattmann, U. (2009). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 27 (3), 404–414.
- Reinhold, P. & Bündler, W. (2001). Stichwort: Fächerübergreifender Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 4 (3), 333–357.
- Reschetilowski, W. (2015). *Einführung in die Heterogene Katalyse*. Springer.
- Richter, D., Engelbert, M., Weirich, S. & Pant, H. A. (2013). Differentielle Teilnahme an Lehrerfortbildungen und deren Zusammenhang mit professionsbezogenen Merkmalen von Lehrkräften. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 27 (3), 193–207.
- Ripmeester, J. A. & Ratcliffe, C. I. (1990). Application of ^{129}Xe NMR to the Study of Microporous Solids. *Journal of Physical Chemistry*, 94 (19), 7652–7656.
- Rösken, B. (2008). Zu innovativen Aspekten von Lehrerfortbildung. In E. Vásárhelyi (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht online. Vorträge auf der 42. Tagung für*

- Didaktik der Mathematik* (S. 669–672). Budapest: Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik.
- Röthemeyer, F. & Sommer, F. (2013). *Kautschukindustrie. Werkstoffe – Verarbeitung – Produkte* (3. Aufl.). München: Carl Hanser Verlag.
- Rouquerol, F., Rouquerol, J. & Sing, K. (1999). *Adsorption by powders and porous solids. Principles, methodology and application*. London: Published Academic Press.
- Rubin, Z., Sunshine, A. S., Heaney, M. B., Bloom, I. & Balberg, I. (1999). Critical behavior of the electrical transport properties in a tunneling-percolation system. *Physical Review B*, 59 (19), 12196 – 12199.
- Saeidi, N. & Parvini, M. (2016). Accuracy of Dubinin-Astakov and Dubinin-Raduchkevich Adsorption Isotherm Models in Evaluating Micropore Volume of Bontonite. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 60 (2), 123–129.
- Sasse, A. & Schulzeck, U. (2013). Differenzierungsmatrizen als Modell der Planung und Reflexion inklusiven Unterrichts – zum Zwischenstand in einem Schulversuch. In A. Jantowski (Hrsg.), *Thillm. 2013 – Gemeinsam leben. Miteinander lernen*. Bad Berka.
- Schartl, M., Gessler, M. & von Eckardstein, A. (2009). *Biochemie und Molekularbiologie des Menschen* (1. Aufl.). München: Elsevier.
- Schecker, H., Bethge, T., Breuer, E., von Dwingelo-Lütten, R., Graf, H.-U., Gropengießer, I. & Langensiepen, B. (1996). Naturwissenschaftlicher Unterricht im Kontext allgemeiner Bildung. *MNU*, 49 (8), 488–492.
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45–66.
- Schecker, H. & Wiesner, H. (2007). Die Bildungsstandards Physik. Orientierung – Erwartungen – Grenzen – Defizite. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 56 (6), 5–13.
- Schmidt, H. (2003). ^{129}Xe -NMR-spektroskopische Untersuchungen an Carbon Black und Graphit (Dissertation). Universität Duisburg-Essen, Duisburg.
- Schmidt, S. & Neu, C. (2004). Interviewstudie zum Fortbildungsverhalten von Chemielehrerinnen und -lehrern. In H. J. Bader, K. Höner & I. Melle (Hrsg.), *Frankfurter Beiträge zur Didaktik der Chemie* (Bd. 3, S. 55–108). Frankfurt am Main: Schutt.
- Schmutzer, E. (1991). *Grundlagen der Theoretischen Physik mit einem Grundriß der Mathematik für Physiker in vier Teilen. Teil 1* (2. Aufl.). Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Schuchowitzki, A. A. (1934). Adsorption und Kapillarkondensation. *Kolloid-Zeitschrift*, 66 (2), 139–147.
- Sing, K. S. W. (1985). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984).

- Pure and Applied Chemistry*, 57 (4), 603–619.
- Smith, C. & Gillespie, M. (2007). Research on Professional Development and Teacher Change: Implications for Adult Basic Education. *Review of Adult Learning and Literacy*, 7, 205–244.
- SMK. (2011). *Lehrplan Gymnasium. Chemie*. Zugriff auf https://www.schule.sachsen.de/lpdb/web/downloads/lp_gy_chemie_2011.pdf?v2 (SMK - Sächsisches Staatsministerium für Kultus. Eingesehen am 12.12.2018)
- Staffer, D. & Aharony, A. (1994). *Introduction To Percolation Theory: Revised Second Edition* (2. Aufl.). Taylor & Francis.
- Statistisches Bundesamt. (2018). *Schulen auf einen Blick. Ausgabe 2018*. Zugriff auf https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00035140/Schulen_auf_einen_Blick_2018_Web_bf.pdf;jsessionid=5BBFAA19E06C8B05F31D4EF0E0326230 (Eingesehen am 20.03.2018)
- Stäudel, L. (2003). Naturwissenschaftliches Arbeiten. *Unterricht Chemie*, 76/77 (14), 4–6.
- Stäudel, L. & Rehm, M. (2012). Naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht. Wurzeln, Konzepte, Perspektiven. *Unterricht Chemie*, 23 (130/131), 2–12.
- Stephani, H. & Kluge, G. (1995). *Theoretische Mechanik. Punkt- und Kontinuumsmechanik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Streitberger, H.-J. & Hanselmann, R. (2010). *Epoxidharze*. Zugriff auf <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-05-01423> (Eingesehen am 16.11.2018)
- Stübiger, F., Ludwig, P. H., Bosse, D., Gessner, E. & Lorberg, F. (2006). *Bestandsaufnahme zur Praxis fächerübergreifenden Unterrichts in der gymnasialen Oberstufe im Bundesland Hessen*. Kassel: kassel university press.
- Stufflebeam, D. L. (2003). The CIPP model for evaluation. In T. Kellaghan & D. L. Stufflebeam (Hrsg.), *International Handbook of Educational Evaluation*. Dordrecht: Springer.
- Stufflebeam, D. L. & Shinkfield, A. J. (2007). *Evaluation theory, models and applications*. San Francisco: WILEY.
- Sumfleth, E. & Fischer, H. (2005). Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Quo vadis? In A. Wellensiek, M. Welzel & T. Nohl (Hrsg.), *Didaktik der Naturwissenschaften – Quo vadis?* (S. 27–39). Berlin: Logos.
- Supovitz, J. A. & Turner, H. M. (2000). The Effects of Professional Development on Science teaching Practices and Classroom Culture. *Journal of Research in Science Teaching*, 37 (9), 963–980.
- Taufertshöfer, T. (2014). Einfluss der Verfahrenstechnik eines Planetwalzenextruders auf die elektrische Leitfähigkeit rußgefüllter Polyolefine. In M. H. Wagner (Hrsg.), *Kunststoff-Forschung* (Bd. 78). Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.

- Tausch, M. W. (2017). Chemische Schlüsselkonzepte. Netzwerk aus Leitideen für Unterricht und Lehre. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 66 (1), 5–10.
- Thompson-Flagg, R. C., Moura, M. J. B. & Marder, M. (2009). Rippling of graphene. *EPL*, 85.
- Timperley, H. (2008). Teacher professional learning and development. *International Academy of Education Brussels*.
- TMBJS. (2013). *Lehrplan für den Erwerb der allgemeinen Hochschulreife. Wahlpflichtfach Naturwissenschaften und Technik Erprobungsfassung*. Zugriff auf <https://www.schulportal-thueringen.de/web/guest/media/detail?tspi=3702> (TMBJS - Thüringer Ministerium für Bildung, Jugend und Sport. Eingesehen am 03.07.2018)
- TMBJS. (2015a). *Lehrplan für den Erwerb der allgemeinen Hochschulreife. Mensch-Natur-Technik*. Zugriff auf <https://www.schulportal-thueringen.de/media/detail?tspi=1393> (TMBJS - Thüringer Ministerium für Bildung, Jugend und Sport. Eingesehen am 03.07.2018)
- TMBJS. (2015b). *Thüringer Bildungsplan bis 18 Jahre. Bildungsansprüche von Kindern und Jugendlichen*. (TMBJS - Thüringer Ministerium für Bildung, Jugend und Sport)
- TMBWK. (2012). *Lehrplan für den Erwerb der allgemeinen Hochschulreife. Chemie*. Zugriff auf <https://www.schulportal-thueringen.de/media/detail?tspi=2285> (TMBWK - Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur. Eingesehen am 12.11.2018)
- Trauzettel, B. (2007). Von Graphit zu Graphen. *Physik Journal*, 6 (7), 39–44.
- Urban, K. (2015). *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. Ein Ritt auf der Rasierklinge*. Berlin: Springer.
- Van den Akker, J. J. H. (1998). The implementation of teaching materials in educational practice [De implementatie van onderwijsleermiddelen in de onderwijspraktijk]. In B. P. M. Creemers (Hrsg.), *Onderwijskundig Lexicon Editie III* (S. 49–58). Alphen aan den Rijn: Kluwer.
- Van den Akker, J. J. H. (2003). Curriculum perspectives: an introduction. In J. J. H. Van den Akker, W. Kuiper & U. Hameyer (Hrsg.), *Curriculum landscape and trends* (S. 1–10). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Vigerske, S. (2017). *Transfer von Lehrerfortbildungsinhalten in die Praxis. Eine empirische Untersuchung zur Transferqualität und zu Einflussfaktoren*. Berlin: Springer.
- Vionnet-Menot, S., Grimaldi, C., Maeder, T., Ryser, P. & Straessler, S. (2005). Tunneling-percolation origin of nonuniversality: Theory and experiments. *Physical Review B*, 71.
- Visser, T. C., Coenders, F. G. M., Terlouw, C. & Pieters, J. M. (2010). Essential Characteristics for a Professional Development Program for Promoting the Implementation

- of a Multidisciplinary Science Module. *Journal of Science Teacher Education*, 21, 623–642.
- Vollhardt, K. P. C. & Schore, N. E. (2000). *Organische Chemie* (3. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- Wagenschein, M. (1976). *Die Pädagogischen Dimensionen der Physik* (Bd. 4; J. Muth & K. Schaller, Hrsg.). Braunschweig: westermann.
- Wagenschein, M. (1992). *Verstehen lehren. Genetisch – Sokratisch – Exemplarisch* (Bd. 10). Weinheim: Beltz Verlag.
- Wampler, W. A., Nikiel, L. & Evans, E. N. (2016). Carbon Black. In B. Rodgers (Hrsg.), *Rubber Compounding. Chemistry and Applications* (S. 225–229). Boca Raton: CRC Press.
- Wan, Y. Z., Wang, Q. Y. & Dong, X. H. (2001). Influence of Surface Treatment of Carbon Fibers on Interfacial Adhesion Strength and Mechanical Properties of PLA-Based Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 80 (3), 367–376.
- Watkins, K. E. & Marsick, V. J. (1992). Towards a Theory of Informal and Incidental Learning in Organisations. *International Journal of Lifelong Education*, 11 (4), 287–300.
- Wedler, G. & Freund, H.-J. (2012). *Lehrbuch der Physikalische Chemie* (6. Aufl.). Weinheim: WILEY-VCH.
- Wenning, S. & Sandmann, A. (2016). Bio-Innovativ: Netzwerk Lehrerfortbildung. *Biologie in unserer Zeit*, 46 (1), 12–14.
- Wikeley, F. (2005). Evaluating effective school improvement. *School Effectiveness and School Improvement*, 16, 387–406.
- Wilhelm, M. (2007). Was ist guter Naturwissenschafts-Unterricht? *Chimica didactica*, 33 (98), 67–86.
- Winkler, I. (2015). *Professionalisierung von Anfang an im Jenaer Modell der Lehrerbildung (ProfJL)*. (Projektantrag)
- Wiskamp, V. & Proske, W. (1996). *Umweltbewusstes Experimentieren Im Chemieunterricht*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Witten, E., Kraus, T. & Kühnel, M. (2015). *Composites–Marktbericht 2015. Marktentwicklung, Trends, Ausblicke und Herausforderungen*. Zugriff auf https://www.avk-tv.de/files/20151214_20150923_composites_marktbericht_gesamt.pdf (Eingesehen am 16.11.2018)
- Woest, V. (1995). Offener Chemieunterricht – Konstruktion, Erprobung, Bewertung. In *Reihe: Leuchtturm-Unterricht-Paperbacks* (Bd. 20). Alsbach: Leuchtturm-Verlag.
- Woest, V., Grasser, A. & Teuscher, J.-M. (2008). Frühzeitig mit Chemie beginnen. Ein Schulnetzprojekt in Thüringen. In D. Höttecke (Hrsg.), *Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung* (S. 89–91). Berlin: LIT-Verlag.

- Wolff-Fabris, F. (2015). Einleitung. In H. Lengsfeld, F. Wolff-Fabris, J. Krämer, J. Lacalle & V. Altstädt (Hrsg.), *Faserverbundwerkstoffe. Prepregs und ihre Verarbeitung* (S. 1–9). München: Hanser.
- Wu, M. (2017). *Einfluss der Funktionalisierung von Rußen auf Vulkanisationsverhalten und Eigenschaften von rußgefülltem Naturkautschuk* (Dissertation). Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle-Wittenberg.
- Xu, Z., Yang, T., Nakamura, M., Yang, Y. & Hamada, H. (2016). Effect of Carbon Powder Surface Treatment on Carbon Fiber Reinforced PA Composites. *Energy Procedia*, 89, 15–23.
- Yu, D., Goh, K., Wang, H., Wei, L., Jiang, W., Zhang, Q., . . . Chen, Y. (2014). Scalable synthesis of hierarchically structured carbon nanotube-graphene fibres for capacitive energy storage. *Nature Nanotechnology*, 9 (7), 555–562.
- Zajicek, A., Hülsken, A., Wenning, S. & Sandmann, A. (2015). Online-Befragung zu Einstellungen und Erwartungen von Biologielehrkräften zu biologischen Fortbildungen. In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Bildung durch Biologieunterricht (Abstractband). 20. internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie* (S. 143–144). Universität Hamburg.
- ZLB. (o. J.). *Qualitätsoffensive Lehrerbildung: Das Projekt ProfJL*. Zugriff auf <https://www.profjl.uni-jena.de/> (ZLB - Zentrum für Lehrerbildung und Bildungsforschung. Eingesehen am 31.07.2018)
- Zurstrassen, B. (2015). Inklusion durch Leichte Sprache? Eine kritische Einschätzung. In C. Dönges, W. Hilpert & B. Zurstrassen (Hrsg.), *Didaktik der inklusiven politischen Bildung* (S. 126–138). Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung.
- Zurutuza, A. & Marinelli, C. (2014). Challenges and opportunities in graphene commercialization. *Nature Nanotechnology*, 9, 730–734.

Publikationen und Vorträge

Veröffentlichungen und (Poster-)Vorträge

- Engelmann, P., Hoffmann, C. & Woest, V. (2018). Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Aus- und Weiterbildung von Lehrerinnen und Lehrern. In A. Gröschner, I. Winkler & M. May (Hrsg.), *Lehrerbildung in einer Welt der Vielfalt. Befunde und Perspektiven eines Entwicklungsprojekts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Milatz, A., Engelmann, P., Greiner, F., Hoffmann, C., Mende, L., Reichel, J., Szücs, K., Zastrow, M. E. & Zühlsdorf, F. (2018). ELBI-123: Evaluationsinstrument in der LehrerInnenbildung für die 1., 2., und 3. Phase [Fragebogen]. Unveröffentlichtes Instrument.
- Engelmann, P. & Woest, V. (2018). Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Weiterbildung von Lehrkräften. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017. Universität Regensburg, S. 82-85.
- Engelmann, P. & Woest, V. (2017). Ein Weiterbildungsstudiengang für integrierte Naturwissenschaften. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016. Universität Regensburg, S. 640-643.
- Engelmann, P. (2013). Cepheid Stars as standard candles for distance measurements. Tagungsbeitrag auf der Heraeus Summer School 2013: Cosmology.

Entwickelte und überarbeitete Lehrerhandreichungen

Titel	Seiten- zahl
Didaktik der Naturwissenschaften	56
Bionik – Lernen von der Natur	69
Arzneimittel	80
Wasser-Boden-Luft	63
Regenerative Kraftstoffe	60
Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien	64
Waschmittel – neu verpackt	84
Naturgeschichte einer Kerze	72
UV/ VIS-Spektroskopie	20
Leichte Sprache – Experimente aus Physik und Chemie zu Stoffen und Sinnen	50
Differenzierungsmatrizen – Werkzeuge für einen inklusiven Chemieunterricht?	172

Durchgeführte Lehrerfortbildungen im Rahmen dieser Arbeit

Nr	Datum	Ort	Thema
1	15.03.2016	Nürnberg	NWuT: Lebensmittelzusatzstoffe
2	02.06.2016	Jena	NWuT: Arzneimittel
3	06.10.2016	Arnstadt	NWuT: Regenerative Kraftstoffe
4	02.11.2016	Jena	Basiskonzepte der Naturwissenschaften
5	16.11.2016	Jena	NWuT: Arzneimittel
6	23.11.2016	Jena	NWuT: Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien
7	15.03.2017	Erfurt	NWuT: Regenerative Kraftstoffe
8	23.03.2017	Erfurt	Didaktik der Naturwissenschaften
9	30.03.2017	Erfurt	MNT: Bionik – Lernen von der Natur
10	06.04.2017	Erfurt	NWuT: Arzneimittel
11	04.05.2017	Erfurt	NWuT: Regenerative Kraftstoffe
12	11.05.2017	Erfurt	Inklusion im Naturwissenschaftsunterricht
13	14.08.2017	Erfurt	Didaktik der Naturwissenschaften
14	18.10.2017	Erfurt	MNT: Bionik – Lernen von der Natur
15	16.11.2017	Erfurt	NWuT: Arzneimittel
16	10.01.2018	Erfurt	MNT: Wasser-Boden-Luft
17	15.02.2018	Erfurt	NWuT: Regenerative Kraftstoffe
18	19.04.2018	Erfurt	NWuT: Kohlenstoff- und Kohlenstoffnanomaterialien
19	07.06.2018	Jena	UV/ VIS-Spektroskopie
20	13.06.2018	Erfurt	Naturwissenschaften im Alltag
21	14.09.2018	Karlsruhe	Naturgeschichte einer Kerze
22	22.11.2018	Jena	Waschmittel – neu verpackt
23	13.12.2018	Jena	Experimente zu Weihnachten

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen, um mich bei einigen Personen zu bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Mein größter Dank gilt Prof. Dr. Volker Woest, der mich in meinem gesamten Promotionsprozess von der Themenfindung bis zur Fertigstellung der Arbeit sehr intensiv betreut und mir stets Vertrauen in meine wissenschaftliche Arbeit entgegengebracht hat. Daneben danke ich der gesamten Arbeitsgruppe Chemiedidaktik für die stete Hilfsbereitschaft und vielen konstruktiven und manchmal spaßigen Diskussionen über die Inhalte und methodischen Fragen dieser Arbeit. Auch meinem bestem Freund und Projektkollegen Clemens Hoffmann, mit dem ich gemeinsam im Promotionsprozess und in der Projektarbeit diskutiert, gemeckert und gelacht habe, gilt mein Dank.

Prof. Dr. Ronny Nawrodt danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens und seinen Zuspruch zu einem verstärkten Fokus der Fachlichkeit in der Didaktik.

Weiterhin möchte ich mich bei Dr. Silvana Fischer für die motivationale Unterstützung bei gemeinsamen Kaffeepausen und experimentellen Nachmittagsvergnügungen bedanken.

Auch dem gesamten Projektteam von Prof.JL gilt mein Dank für grenzüberschreitende und vernetzende Gespräche, Hinweise und Projekttreffen. Insbesondere bei Dr. Dana Strauß möchte ich mich für die hervorragende Projektkoordination bedanken, die mir oft den Rücken für das Erstellen dieser Arbeit freigehalten hat.

Darüber hinaus danke ich allen Thüringer Lehrkräften, die mich im Rahmen von Fortbildungen bei der Durchführung der Erprobungsphase tatkräftig unterstützt und mit konstruktiven Hinweisen zur Weiterentwicklung des Fortbildungskonzeptes beigetragen haben. Vor allem bei der AuAu-Gruppe bedanke ich mich für ein absolut herrliches und auch gewinnbringendes Semester.

Zuletzt bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden, die mich in meiner Entscheidung zu promovieren und in Schaffungskrisen stets aufgebaut und emotional unterstützt haben.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen angefertigt habe.

Ort, Datum

Philipp Engelmann